

"Express Mail" mailing label number EV 327 134 168 US

Date of Deposit 7/14/03

Our File No. 9281-4603
Client Reference No. N US02004

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
Naoya Hasegawa et al.)
Serial No. To Be Assigned)
Filing Date: Herewith)
For Magnetic Sensor With Second)
Antiferromagnetic Layer Having Smaller)
Depth In Height Direction Than Free)
Layer And Manufacturing Method Thereof)

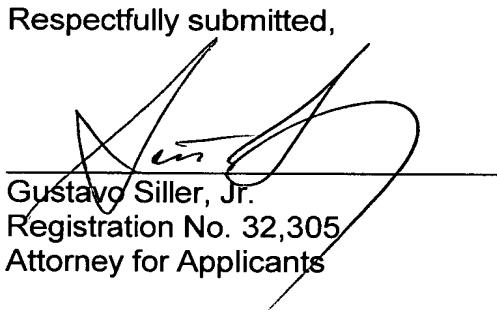
SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application No. 2002-206544, filed July 16, 2002 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,


Gustavo Siller, Jr.
Registration No. 32,305
Attorney for Applicants

BRINKS HOFER GILSON & LIONE
P.O. BOX 10395
CHICAGO, ILLINOIS 60610
(312) 321-4200

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年 7月16日

出願番号

Application Number: 特願2002-206544

[ST.10/C]:

[JP2002-206544]

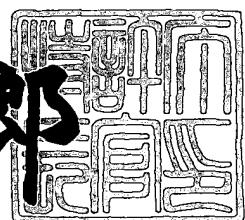
出願人

Applicant(s): アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3019548

【書類名】 特許願

【整理番号】 021018AL

【提出日】 平成14年 7月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 43/08
G11B 5/39

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【請求項の数】 13

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

【氏名】 長谷川 直也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

【氏名】 梅津 英治

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100121049

【弁理士】

【氏名又は名称】 三輪 正義

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層を有する多層膜が設けられ、

前記フリー磁性層のトラック幅方向における素子両側端部上には第2反強磁性層が設けられ、前記第2反強磁性層の交換結合磁界が生じる領域のハイト側後端面が、少なくとも前記フリー磁性層のトラック幅方向における素子中央部のハイト側後端面よりも記録媒体との対向面側に位置していることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項2】 前記フリー磁性層上には第3反強磁性層が設けられ、前記第3反強磁性層のトラック幅方向における素子両側端部上に前記第2反強磁性層が設けられる請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項3】 下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層を有する多層膜が設けられ、

少なくとも前記フリー磁性層のトラック幅方向における素子両側端部のハイト側の後方領域上には絶縁層が設けられ、

第2反強磁性層が、前記フリー磁性層の前記素子両側端部上であって、記録媒体との対向面側から前記絶縁層上にかけて形成されることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項4】 前記フリー磁性層上には第3反強磁性層が設けられ、前記絶縁層が、前記第3反強磁性層の前記素子両側端部のハイト側の後方領域上に設けられ、

前記第2反強磁性層が、前記第3反強磁性層の前記素子両側端部上であって、記録媒体との対向面側から前記絶縁層上にかけて形成される請求項3記載の磁気検出素子。

【請求項5】 前記絶縁層は、前記多層膜のハイト側後端面よりもさらにハイト側後方に広がって形成される請求項3または4に記載の磁気検出素子。

【請求項6】 膜厚方向における前記絶縁層とフリー磁性層間、あるいは前

記絶縁層と第3反強磁性層間には非磁性層が設けられる請求項3ないし5のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項7】 前記非磁性層は、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成される請求項6記載の磁気検出素子。

【請求項8】 前記第3反強磁性層は20Å以上で50Å以下の膜厚で形成される請求項2または4に記載の磁気検出素子。

【請求項9】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

(a) 下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層の順に多層膜を形成する工程と、

(b) 前記フリー磁性層のトラック幅方向における素子両側端部上であって、ハイト側の後方領域上に絶縁層を設ける工程と、

(c) 第2反強磁性層を前記フリー磁性層の前記素子両側端部上であって、記録媒体との対向面側から前記絶縁層上にかけて形成する工程。

【請求項10】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

(d) 下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、第3反強磁性層及び非磁性層の順に多層膜を形成する工程と、

(e) 前記多層膜のハイト側後端面を所定形状に画定する工程と、

(f) 前記多層膜のハイト側の後方領域上から、前記多層膜のハイト側後端面よりもさらにハイト側後方に向けて絶縁層を形成する工程と、

(g) 前記絶縁層と重ねられていない露出状態の前記非磁性層を削る工程と、

(h) 前記第3反強磁性層上から前記絶縁層上にかけて第2反強磁性層を形成する工程と、

(i) 前記第3反強磁性層のトラック幅方向における素子両側端部上にマスク層を形成し、前記マスク層に覆われていない前記第2反強磁性層のトラック幅方向における素子中央部を削り、前記素子両側端部上に、記録媒体との対向面側から、前記第3反強磁性層のハイト側後方領域上に設けられた前記絶縁層上にかけて

前記第2反強磁性層を残す工程。

【請求項11】 前記非磁性層を、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成する請求項10記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項12】 前記非磁性層を成膜時、3Å以上で10Å以下の膜厚で形成する請求項11記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項13】 前記第3反強磁性層を20Å以上で50Å以下の膜厚で形成する請求項10ないし12のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は主に、フリー磁性層の磁化制御をエクスチェンジバイアス方式で行う磁気検出素子に係り、特に、狭トラック化においても再生感度の向上を図ることができるとともに、サイドリーディングの発生を抑制できる磁気検出素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

図20は、従来の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0003】

符号1は第1反強磁性層であり、前記第1反強磁性層1の上に固定磁性層2、非磁性材料層3及びフリー磁性層4からなる多層膜7が形成されている。

【0004】

図20に示す磁気検出素子では、前記フリー磁性層4の素子両側端部4a上に第2反強磁性層5が形成され、さらに前記第2反強磁性層5上に電極層6が形成されている。

【0005】

図20に示すように前記第2反強磁性層5のトラック幅方向(図示X方向)における下面間の間隔でトラック幅Twが規制される。

【0006】

図21は、図20に示す磁気検出素子を真上から見た部分平面図である。なおこの平面図では図20に示す電極層6は省略されている。図21に示すように前記第2反強磁性層5は、前記フリー磁性層4の素子両側端部4a上全体に形成されている。

【0007】

図22は、図20に示す磁気検出素子を一点鎖線の位置からY-Z平面と平行な方向に切断し、切断された磁気検出素子を矢印E方向から見た前記磁気検出素子の部分縦断面図である。

【0008】

図22に示すように前記多層膜7のハイト側後端面7aは傾斜面で形成され、このハイト側後端面7aよりもさらにハイト側（図示Y方向）後方には絶縁層8が埋められている。そして前記第2反強磁性層5は前記多層膜7上から前記絶縁層8上に延びて形成されていることがわかる。

【0009】

図20に示す磁気検出素子では、前記フリー磁性層4の素子両側端部4aと第2反強磁性層5間に交換結合磁界が発生すると、前記フリー磁性層4の素子両側端部4aは図示X方向に磁化固定される。図21に示すように前記第2反強磁性層5は前記フリー磁性層4の素子両側端部4a上全体を覆い、上記の交換結合磁界によって前記素子両側端部4a全体が図示X方向に強固に磁化固定される。

【0010】

一方、前記フリー磁性層4の素子中央部4bは弱く図示X方向に单磁区化された状態であり、外部磁界が前記素子中央部4bに図示Y方向から侵入してくると前記フリー磁性層4の素子中央部4bの磁化は回転し、磁気抵抗効果により外部磁界が検出される。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

ところで高記録密度化に対応するためにトラック幅Twを狭くすると、図20に示す磁気検出素子では以下のような問題が発生した。

【0012】

図20に示すような前記フリー磁性層4を、第2反強磁性層5を用いたエクスチェンジバイアス方式で磁化制御する方法では、前記フリー磁性層4の素子中央部4bの磁化は、前記フリー磁性層4内部の隣接スピン間に働く交換相互作用により媒介されたバイアス磁界によって図示X方向に揃えられる。

【0013】

ところが狭トラック化が進むと、前記バイアス磁界の影響を強く受ける領域が前記素子中央部4b内で相対的に大きくなるため、前記フリー磁性層4の外部磁界に対する再生感度が低下するといった問題が発生した。特に前記フリー磁性層4の素子中央部4bの両端4b1付近では、上記のバイアス磁界の影響を強く受けて、外部磁界に対し適切に磁化反転しなくなり、その結果、狭トラック化が進むほど再生感度の低下を招いた。

【0014】

上記した問題を解決する方法としては、前記フリー磁性層4を交換スティフェス定数の小さい材質で形成することが考えられる。

【0015】

交換スティフェス定数とは、スピンの分布に対する交換エネルギーの大きさを規定する定数であり、前記交換スティフェス定数が小さい磁性材料ほど、隣接するスピンの向きを急激に変化させることが容易になる。なお前記交換スティフェス定数については、「近角聰信著 強磁性体の物理（下） 裳華房 1984」の第166頁から第169頁に詳しい記載があるので、そちらを参照されたい。

【0016】

このように再生感度の向上を図るには前記フリー磁性層4の交換スティフェス定数を小さくすればよいが、交換スティフェス定数が低下しすぎるとキュリー温度が低下するため、前記フリー磁性層4の磁化の熱揺らぎが問題となり、熱揺らぎにより誘発された強磁性共鳴によるノイズやバルクハウゼンノイズの発生などが深刻化してしまう。

【0017】

また前記フリー磁性層4の素子両側端部4aと第2反強磁性層5間に発生する

交換結合磁界を弱めると再生感度を向上させることができる。例えば前記第2反強磁性層5の膜厚を薄くすれば、前記交換結合磁界を弱めることができる。

【0018】

しかしながら前記交換結合磁界が弱まると、前記素子両側端部4aでの磁化固定が弱くなるため前記素子両側端部4aの磁化が外部磁界によって磁化反転することで起こるサイドリーディングの問題が発生してしまう。

【0019】

さらに、前記フリー磁性層4の膜厚を薄くすることで、前記フリー磁性層4の単位面積当たりの磁気モーメント（飽和磁化Ms × 膜厚t）を小さくし、再生感度を向上させる方法もあるが、前記フリー磁性層4の膜厚を薄くしすぎると再生波形の安定性が低下したり、熱揺らぎによる雑音の発生が問題となってしまう。

【0020】

そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、エクスチェンジバイアス方式において、狭トラック化においても再生感度の向上を図ることができるとともに、サイドリーディングの発生を抑制できる磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】

本発明における磁気検出素子は、下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層を有する多層膜が設けられ、

前記フリー磁性層のトラック幅方向における素子両側端部上には第2反強磁性層が設けられ、前記第2反強磁性層の交換結合磁界が生じる領域のハイト側後端面が、少なくとも前記フリー磁性層のトラック幅方向における素子中央部のハイト側後端面よりも記録媒体との対向面側に位置していることを特徴とするものである。

【0022】

本発明では、前記フリー磁性層の前記素子中央部の後方領域は、前記第2反強磁性層の交換結合磁界が生じる領域と隣接しなくなるため、少なくとも前記フリー磁性層の前記素子中央部のハイト側後方領域では、磁性層内部での交換相互作

用により媒介されたバイアス磁界を弱めることができ、前記フリー磁性層の前記素子中央部での外部磁界に対する感度を、前記フリー磁性層の交換スティフネス定数を低減させることなく、従来に比べて向上させることができる。

【0023】

しかも本発明では、前記フリー磁性層の素子両側端部の、前記第2反強磁性層との間で交換結合磁界が生じる領域は、記録媒体との対向面側に適切に形成されているので、前記フリー磁性層の素子両側端部の記録媒体との対向面側の領域は適切にトラック幅方向に磁化固定されており、サイドリーディングが発生するといった不具合も生じない。

【0024】

よって本発明によれば、高記録密度化に適切に対応するために狭トラック化を促進させても、サイドリーディングの発生を抑制しつつ、前記フリー磁性層の外部磁界に対する再生感度を向上させることができ、高記録密度化においても効果的に再生出力の向上を図ることが可能な磁気検出素子を製造することができる。

【0025】

また本発明では、前記フリー磁性層上には第3反強磁性層が設けられ、前記第3反強磁性層のトラック幅方向における素子両側端部上に前記第2反強磁性層が設けられることが好ましい。

【0026】

また本発明における磁気検出素子は、下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層を有する多層膜が設けられ、

少なくとも前記フリー磁性層のトラック幅方向における素子両側端部のハイト側の後方領域上には絶縁層が設けられ、

第2反強磁性層が、前記フリー磁性層の前記素子両側端部上であって、記録媒体との対向面側から前記絶縁層上にかけて形成されることを特徴とするものである。

【0027】

この発明では、前記フリー磁性層の前記素子両側端部のハイト側後方領域に絶縁層が設けられ、前記第2反強磁性層が、記録媒体との対向面側から前記絶縁層

上にかけて形成されている点に特徴がある。

【0028】

前記絶縁層よりも記録媒体との対向面側の前方領域では、前記フリー磁性層と第2反強磁性層間で適切な大きさの交換結合磁界が生じ、前記フリー磁性層の素子両側端部の前記前方領域は適切にトラック幅方向に磁化固定される。一方、前記フリー磁性層の素子両側端部の後方領域では、前記第2反強磁性層との間に絶縁層が設けられているから、前記フリー磁性層の後方領域と前記第2反強磁性層との間に交換結合磁界は発生せず、従って前記フリー磁性層の後方領域は、前方領域のように強固にトラック幅方向に磁化固定されるといったことがない。

【0029】

その結果、前記フリー磁性層の後方領域では、磁性層内部で生じる交換相互作用により媒介されたバイアス磁界が前方領域に比べて弱まり、後方領域でのバイアス磁界を弱めた結果、前記フリー磁性層の素子中央部での外部磁界に対する再生感度を従来に比べて向上させることが可能になる。

【0030】

ここで前記フリー磁性層の素子両側端部の後方領域では、前記バイアス磁界が弱まる分、サイドリーディングの発生が懸念される。しかし、前記外部磁界は、前記フリー磁性層の後方領域まで辿り着くまでに減衰するなどの理由から従来に比べてサイドリーディングが発生しやすくなるという不具合は発生しないものと考えられる。

【0031】

特に本発明では前記フリー磁性層の素子両側端部の前方領域は、前記第2反強磁性層との間で生じる交換結合磁界によって強固にトラック幅方向に磁化固定されている。前記フリー磁性層の素子両側端部の前方領域の磁化状態は、後方領域に比べてサイドリーディングの発生の有無に大きく関与するため、本発明のように前記フリー磁性層の素子両側端部の前方領域を適切に磁化固定することで、サイドリーディングの発生を適切に抑制することが可能である。

【0032】

また本発明では、前記フリー磁性層上には第3反強磁性層が設けられ、前記絶

縁層が、前記第3反強磁性層の前記素子両側端部のハイト側の後方領域上に設けられ、

前記第2反強磁性層が、前記第3反強磁性層の前記素子両側端部上であって、記録媒体との対向面側から前記絶縁層上にかけて形成されることが好ましい。

【0033】

本発明では、上記のようにフリー磁性層上に第3反強磁性層を設け、この第3反強磁性層の素子両側端部の記録媒体との対向面側の前方領域上から後方領域の絶縁層上にかけて第2反強磁性層を設けている。従って前記フリー磁性層の素子両側端部の前方領域上では、前記第2反強磁性層と前記第3反強磁性層とを合わせた膜厚の厚い反強磁性層が形成されており、この反強磁性層との間で発生する交換結合磁界によって前記フリー磁性層の素子両側端部の前方領域は、適切にトラック幅方向に磁化固定された状態になっている。一方、フリー磁性層の素子中央部は、外部磁界に対し磁化回転できる程度に弱く単磁区化されている。

【0034】

また本発明では、前記絶縁層は、前記多層膜のハイト側後端面よりもさらにハイト側後方に広がって形成されることが好ましい。これにより前記絶縁層の製造工程を容易化できる。また前記絶縁層はバックフィルギャップ層とも呼ばれる。

【0035】

また本発明では、膜厚方向における前記絶縁層とフリー磁性層間、あるいは前記絶縁層と第3反強磁性層間には非磁性層が設けられることが好ましい。また前記非磁性層は、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成されることが好ましい。前記絶縁層はその下の層を酸化から防止するための酸化防止層としての役割を有している。

【0036】

また本発明では、前記第3反強磁性層は20Å以上で50Å以下の膜厚で形成されることが好ましい。これにより前記フリー磁性層の素子中央部では、前記第3反強磁性層との間で大きな交換結合磁界は生じず、前記フリー磁性層の素子中央部が強固に磁化固定されるのを防ぐことができる。

【0037】

また本発明における磁気検出素子は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

- (a) 下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層の順に多層膜を形成する工程と、
- (b) 前記フリー磁性層のトラック幅方向における素子両側端部上であって、ハイト側の後方領域上に絶縁層を設ける工程と、
- (c) 第2反強磁性層を前記フリー磁性層の前記素子両側端部上であって、記録媒体との対向面側から前記絶縁層上にかけて形成する工程。

【0038】

上記の(a)ないし(c)工程を用いることにより、前記フリー磁性層の前記素子両側端部の後方領域上に絶縁層を設けることができるとともに、前記第2反強磁性層を前記フリー磁性層の素子両側端部の記録媒体との対向面側から前記絶縁層上にかけて形成でき、従来よりも前記フリー磁性層の素子中央部での再生感度が高く、しかもサイドリーディングの発生を適切に抑制することが可能な磁気検出素子を容易且つ適切に製造することが可能である。

【0039】

また本発明における磁気検出素子は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

- (d) 下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、第3反強磁性層及び非磁性層の順に多層膜を形成する工程と、
- (e) 前記多層膜のハイト側後端面を所定形状に画定する工程と、
- (f) 前記多層膜のハイト側の後方領域上から、前記多層膜のハイト側後端面上よりもさらにハイト側後方に向けて絶縁層を形成する工程と、
- (g) 前記絶縁層と重ねられていない露出状態の前記非磁性層を削る工程と、
- (h) 前記第3反強磁性層上から前記絶縁層上にかけて第2反強磁性層を形成する工程と、
- (i) 前記第3反強磁性層のトラック幅方向における素子両側端部上にマスク層を形成し、前記マスク層に覆われていない前記第2反強磁性層のトラック幅方向における素子中央部を削り、前記素子両側端部上に、記録媒体との対向面側から

、前記第3反強磁性層のハイト側後方領域上に設けられた前記絶縁層上にかけて前記第2反強磁性層を残す工程。

【0040】

前記(d)工程から(i)工程を用いれば、前記フリー磁性層の前記素子両側端部の後方領域上に容易に且つ適切な位置に絶縁層を設けることができるとともに、前記フリー磁性層の前記素子両側端部の前方領域と前記第3反強磁性層との間で適切な大きさの交換結合磁界を生じさせることができ、前記フリー磁性層の素子両側端部の前方領域を適切に磁化固定できる。しかも前記フリー磁性層上に形成された第3反強磁性層の素子両側端部の後方領域上には絶縁層を介して前記第2フリー磁性層が形成されているので、前記第3反強磁性層と第2反強磁性層は一体の反強磁性層として機能せず、前記フリー磁性層の素子両側端部の後方領域で交換結合磁界が生じないため、前記フリー磁性層の後方領域での磁性層内で生じる交換相互作用により媒介されたバイアス磁界は弱まり、その結果、前記フリー磁性層の素子中央部での再生感度が従来に比べて高く、しかもサイドリーディングの発生を適切に抑制できる磁気検出素子を容易且つ適切に製造することが可能である。

【0041】

また本発明では、前記非磁性層を、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成することが好ましく、また前記非磁性層を成膜時、3Å以上で10Å以下の膜厚で形成することが好ましい。この程度の薄い膜厚であれば、前記非磁性層を低エネルギーのイオンミリングで削って容易に膜厚調整でき、前記非磁性層下の層に前記イオンミリングにおけるダメージを与える心配がない。

【0042】

また本発明では前記第3反強磁性層を20Å以上で50Å以下の膜厚で形成することが好ましい。本発明では前記第3反強磁性層をあまり厚く形成してはいけない。前記第3反強磁性層を厚く形成すると、磁場中アニールによって規則化しやすくなり、前記フリー磁性層の素子中央部と前記第3反強磁性層の素子中央部間でも大きな交換結合磁界が発生し、前記フリー磁性層の素子中央部が磁化固定

されてしまうからである。

【0043】

【発明の実施の形態】

図1は本発明における磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0044】

符号20は基板である。前記基板20上には、NiFe合金、NiFeCr合金あるいはCrなどで形成されたシードレイヤ21が形成されている。前記シードレイヤ21は、例えば $(Ni_{0.8}Fe_{0.2})_{60at\%}Cr_{40at\%}$ の膜厚60Åで形成される。

【0045】

前記シードレイヤ21の上には第1反強磁性層22が形成されている。第1反強磁性層22は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成される。

【0046】

第1反強磁性層22として、これらの合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1反強磁性層22及び固定磁性層23の交換結合膜を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380°Cと極めて高い優れた第1反強磁性層22及び固定磁性層23の交換結合膜を得ることができる。

【0047】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造(fcc)であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造(fcc)に構造変態する。

【0048】

第1反強磁性層22の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80～300Åである。

【0049】

前記第1反強磁性層22の上には、固定磁性層23が形成されている。前記固定磁性層23は人工フェリ構造である。前記固定磁性層23は磁性層24、26とその間に介在する非磁性中間層25の3層構造である。

【0050】

前記磁性層24、26は、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などの磁性材料で形成される。前記磁性層24と磁性層26は、同一の材料で形成されることが好ましい。

【0051】

また、非磁性中間層25は、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

【0052】

前記固定磁性層23の上には、非磁性材料層27が形成されている。非磁性材料層27は、固定磁性層23とフリー磁性層28との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Agなど導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特にCuによって形成されることが好ましい。

【0053】

前記非磁性材料層27の上にはフリー磁性層28が形成されている。図1に示す実施形態では前記フリー磁性層28は2層構造である。符号29の層は、CoやCoFeなどからなる拡散防止層である。この拡散防止層29はフリー磁性層28と非磁性材料層27の相互拡散を防止する。そして、この拡散防止層29の上にNiFe合金などで形成された磁性材料層30が形成されている。

【0054】

前記フリー磁性層28の上には第3反強磁性層31が形成される。第3反強磁性層31は、第1反強磁性層22と同様に、PtMn合金、または、X-Mn(

ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である)合金で、あるいはPt-Mn-X' (ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である)合金で形成される。

【0055】

図1に示す実施形態では、前記第3反強磁性層31の上に、非磁性層32が形成される。さらに前記非磁性層32の素子両側端部C上には、第2反強磁性層33が形成される。前記第2反強磁性層33は、第1反強磁性層22や第3反強磁性層31と同様に、PtMn合金、または、X-Mn (ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である)合金で、あるいはPt-Mn-X' (ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である)合金で形成される。前記第2反強磁性層33は前記第3反強磁性層31と同じ材質で形成されていることが好ましい。

【0056】

そして前記第2反強磁性層33上には電極層34が形成される。前記電極層34は、例えば、Au、W、Cr、Ru、Ta、Rhなどで形成される。

【0057】

図1に示す実施形態では、前記第2反強磁性層33の内側端部33c及び電極層34の内側端部34aは、下方から上方に向う(図示Z方向)にしたがって、徐々に前記第2反強磁性層33間の間隔が広がる傾斜面あるいは湾曲面で形成される。

【0058】

図1に示す実施形態の磁気検出素子の特徴的部分について図2及び図3を参照しながら以下に説明する。

【0059】

図2は、図1に示す磁気検出素子を一点鎖線からX-Y平面と平行な方向で切断し、その切断された磁気検出素子を矢印A方向から見た部分平面図である。

【0060】

図2では図示下側が記録媒体との対向面であり、図示上方向（図示Y方向）がハイト方向となっている。また図2の斜線領域はフリー磁性層28の形成領域を示し、色濃領域は、バックフィルギャップ層（絶縁層）35の形成領域を示している。

【0061】

また図3は図1に示す磁気検出素子を点線部分からY-Z平面と平行な方向で切断し、その切断された磁気検出素子を矢印B方向から見たときの部分縦断面図である。

【0062】

図1ないし図3を見てわかるように前記第2反強磁性層33は、前記フリー磁性層28上に形成された前記第3反強磁性層31の素子両側端部C上に形成され、さらに前記シードレイヤ21から非磁性層32までの各層からなる多層膜36のハイト側後端面36aよりもさらにハイト方向（図示Y方向）に広がって形成されているバックフィルギャップ層（絶縁層）35上にまで形成されている。

【0063】

図2及び図3を見てわかるように、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cのハイト側後方領域上には前記バックフィルギャップ層35の端部35aが乗り上げ形成されており、この上に第2反強磁性層33が形成されている。

【0064】

すなわち図1ないし図3に示す実施形態では前記第2反強磁性層33は、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの記録媒体との対向面側の前方領域上から、前記後方領域に形成されたギャップフィルギャップ層35の端部35a上にかけて形成されており、前記第3反強磁性層31の前記素子両側端部Cの後方領域と第2反強磁性層33間の間隔は、前記第3反強磁性層31の前記素子両側端部Cの前方領域と第2反強磁性層33間の間隔よりも広くなっている。

【0065】

前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域では、その上に形成された第2反強磁性層33と一体の反強磁性層として機能し、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域とフリー磁性層28間には適切な大きさの交換結

合磁界が発生し、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域の磁化Kは図2に示すようにトラック幅方向（図示X方向）に強固に固定される。

【0066】

一方、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域では、前記第2反強磁性層33との間にバックフィルギャップ層35の端部35aが介在し、そのため前記第3反強磁性層31と第2反強磁性層33間には反強磁性的な相互作用が生じず一体の反強磁性層として機能しない。後述するように前記第3反強磁性層31の膜厚h1は20Åから50Åという薄い膜厚で形成されるため、前記第3反強磁性層31単独では反強磁性としての性質を帯びず、その結果、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域とフリー磁性層28間には交換結合磁界が発生せず、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域は図示X方向に強固に磁化固定されない。

【0067】

図1ないし図3に示す実施形態では、このフリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域を前方領域のように図示X方向に強固に固定せず、磁性層内部で生じる交換相互作用によるバイアス磁界を従来よりも小さくして弱く単磁区化することに特徴がある。そして図2に示すように、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域の磁化Hは、外部磁界が図示Y方向から侵入してくると図2のように若干、磁化変動をするものと考えられる。

【0068】

そして前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域でのバイアス磁界が弱められたことで、前記フリー磁性層28の素子中央部Dの後方領域には、さらに弱いバイアス磁界が作用することになる。換言すれば、素子両側端部C上に形成された第2反強磁性層33と、前記フリー磁性層28の素子中央部Dの後方領域は膜厚方向で隣接しなくなるため、従来のように強いバイアス磁界が作用しなくなり、前記フリー磁性層28の素子中央部Dの後方領域の磁化Iは、従来に比べて弱く単磁区化された状態となる。特に前記素子中央部Dの後方領域での磁化Iは、前記フリー磁性層28の素子中央部Dの前方領域の磁化Jよりも弱いバイアス磁界によって磁化変動しやすくなり（図2では磁化変動する角度が磁化Iの

方が磁化Jに比べて大きく描かれている)、トータル的に見ると、前記フリー磁性層28の素子中央部Dでの磁化は、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの全面が第2反強磁性層33との間で生じる交換結合磁界によって強固に磁化固定された場合に比べて、外部磁界に対し磁化回転しやすくなり、再生感度の向上を図ることが可能になる。

【0069】

このように図1ないし図3に示す実施形態では前記フリー磁性層28の後方領域で作用するバイアス磁界を従来よりも弱めることで、前記フリー磁性層28の素子中央部Dでの再生感度を向上させることが可能になっている。

【0070】

図1ないし図3のような、前記フリー磁性層28の後方領域で作用するバイアス磁界を弱めて再生感度の向上を図る手段を用いれば、前記フリー磁性層28の交換スティフネス定数を低下させることなく、また前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域とフリー磁性層28間で生じる交換結合磁界を低下させることもない。

【0071】

ところで前述したように、前記フリー磁性層28に図示Y方向からの外部磁界が侵入してくると、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域の磁化Hが若干、磁化回転する可能性があるが、これによってサイドリーディングが発生しやすくなることはないと考えられる。

【0072】

その理由はまず第1に、前記サイドリーディングの発生を抑制するために最も重要な部分の磁化制御領域は、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域であるからである。この部分が最も強く外部磁界の影響を受けやすいからであり、図2に示すようにこの実施形態では前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域は強固に図示X方向に磁化固定されている。したがって前記サイドリーディングの発生を適切に抑制できる構造となっている。

【0073】

第2に、外部磁界が図示Y方向から侵入してきても、前記外部磁界は前記フリ

一磁性層28の素子両側端部Cの後方領域に辿り着くまでに減衰するため、後方領域の磁化Hを変動させる外部磁界の大きさは非常に小さくなり、サイドリーディングを発生させるほどの磁化変動は生じないものと考えられる。

【0074】

第3に、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域には、確かに交換結合磁界が生じていないため、素子両側端部Cの前方領域に比べて弱いバイアス磁界しか作用しないが、前記素子両側端部Cの前方領域と隣接する後方領域との距離が短いため、前記後方領域でのバイアス磁界は、前記素子中央部Dの後方領域に作用するバイアス磁界ほど弱くはなく、従って非常に弱い外部磁界が前記後方領域まで侵入してきてもほとんど磁化変動を起きない程度に単磁区化された状態になっているものと考えられる。

【0075】

以上のような理由によって図1ないし図3に示す磁気検出素子では、サイドリーディングの発生を適切に抑制できるものと考えられる。

【0076】

図1ないし図3に示す磁気検出素子によれば、特に今後の高記録密度化のためにトラック幅Twが狭小化しても、従来に比べて再生感度を向上させることができるとともに、サイドリーディングの発生も適切に抑制できる磁気検出素子を製造することが可能である。

【0077】

なお図1に示すトラック幅Tw（前記トラック幅Twは第2反強磁性層33の下面間のトラック幅方向（図示X方向）における幅寸法で規制される）は、0.1 μ m～0.2 μ m程度の非常に小さい値であることが好ましく、この程度のトラック幅Twを有する磁気検出素子に本発明を効果的に利用することができる。

【0078】

次に図2に示す「前方領域」及び「後方領域」の定義であるが、図2では、「後方領域」は第3反強磁性層31上にバックフィルギャップ層35の端部35aが乗り上げ形成されている領域、「前方領域」は、その「後方領域」よりも記録媒体との対向面側の前方の領域と定義できる。

【0079】

あるいは別の定義としては、「前方領域」とは、前記第2反強磁性層33が前記第3反強磁性層31と一体の反強磁性層となり、フリー磁性層28との間で交換結合磁界が生じる領域、「後方領域」とは前記交換結合磁界が生じない領域と定義できる。

【0080】

従って、この別の定義からすれば図1ないし図3に示す磁気検出素子は、前記第2反強磁性層33の交換結合磁界が生じる領域のハイト側後端面33aが、前記フリー磁性層28のハイト側後端面28aよりも記録媒体との対向面側に位置している構造と定義することもできる。

【0081】

また図1ないし図3に示す実施形態では、前記「前方領域」のハイト方向（図示Y方向）への長さ寸法L1が前記フリー磁性層28のハイト方向（図示Y方向）への長さ寸法L2の70%から80%を占めていることが好ましい。あるいは前記長さ寸法L1の具体的な数値は0.03μmよりも大きいことが好ましい。前記「前方領域」のハイト方向への長さ寸法L1が0.03μm以下であると、記録媒体からの漏れ磁界の、「後方領域」に辿り着くまでの減衰の割合が小さくなり、前記後方領域での磁化Hが磁化回転しやすくなる結果、サイドリーディングを発生しやすくなるので、前記長さ寸法L1は0.03μmよりも大きいことが好ましい。

【0082】

次に図1ないし図3に示す磁気検出素子では、前記フリー磁性層28の上に第3反強磁性層31が設けられているが、前記第3反強磁性層31は設けられていてもよい。すなわち前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域上にバックフィルギャップ層35の端部35aが乗り上げ形成され、前記第2反強磁性層33が前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域上から前記バックフィルギャップ層35の端部35a上にかけて形成されていてもよい。

【0083】

ただし前記第3反強磁性層31は前記フリー磁性層28上に形成されていた方

が好ましい。前記第3反強磁性層31は、素子両側端部Cの前方領域で、前記フリー磁性層28との間で適切な大きさの交換結合磁界を生じさせるために必要な層である。後述する製造方法で説明するように、成膜段階ではまず前記フリー磁性層28上に前記第3反強磁性層31も連続して成膜するが、このように連続成膜し、さらに前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域上に第2反強磁性層33を設けることで、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域と前記第2反強磁性層33とを一体の反強磁性層として機能させることができ、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域との間で適切な大きさの交換結合磁界を生じさせることができる。

【0084】

ただし、前記第3反強磁性層31の膜厚h1は、20Å以上で50Å以下の薄い膜厚で形成されることが好ましい。より好ましくは30Å以上で40Å以下である。この程度に薄い膜厚で形成されると、前記第3反強磁性層31の素子中央部Dは、磁場中アニールによっても規則化変態しにくく、前記第3反強磁性層31の素子中央部Dと前記フリー磁性層28の素子中央部Dとの間で交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さい。前記フリー磁性層28の素子中央部Dでは大きな交換結合磁界が生じてしまうと前記フリー磁性層28の素子中央部Dが磁化固定されてしまうため、これを防ぐために前記第3反強磁性層33の膜厚を20Å以上で50Å以下の薄い膜厚としている。

【0085】

なお前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域の膜厚と第2反強磁性層33の膜厚を合わせた総合膜厚は80Å以上で300Å以下であることが好ましい。これによって前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域は適切に反強磁性の性質を有し、磁場中アニールによって前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域は規則化変態し、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域と前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域との間で交換結合磁界が発生し、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域をトラック幅方向に磁化固定することが可能になる。

【0086】

次に非磁性層32について説明する。前記非磁性層32は、後述する製造方法で説明するように、大気暴露によって第3反強磁性層31が酸化されるのを防止するために設けられた保護層的役割を有している。

【0087】

前記非磁性層32は、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成されることが好ましい。この中でも特にRuを選択することが好ましい。これら貴金属で形成された非磁性層32は大気暴露によっても酸化されにくい材質である。またこれら貴金属で形成された非磁性層32を構成する元素が、前記第3反強磁性層31や第2反強磁性層33中に拡散しても、反強磁性層の性質は劣化しない。

【0088】

前記非磁性層32を構成する元素が前記第3反強磁性層31や第2反強磁性層33中に拡散しているか否かは、例えばSIMS分析装置や透過電子顕微鏡(TEM)によるEDX分析などによって測定できる。拡散領域では、例えば成膜段階で第3反強磁性層31がPtMn合金で形成され、非磁性層32がRuで形成されると、磁場中アニールなどでRu-Pt-Mnなる合金の拡散層が形成される。Ru-Pt-Mn合金は適切に反強磁性層として機能する。

【0089】

次に前記非磁性層32の膜厚について以下に説明する。前記非磁性層32の膜厚は成膜時、3Å以上で10Å以下の薄い膜厚で形成される。上記したRuなどからなる非磁性層32は、大気暴露によっても酸化されにくい緻密な層であるため、薄い膜厚であっても適切に第3反強磁性層31を大気暴露による酸化から防止することが可能である。

【0090】

成膜時の膜厚は、前記第3反強磁性層31上に乗り上げ形成されたバックフィルギャップ層35の端部35a下に残される前記非磁性層32の端部32aにそのまま残される。前記非磁性層32の端部32aはイオンミリングの影響を受けないからである。

【0091】

従って、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域上には、バックフィルギャップ層35の端部35aの他に、3Å～10Åの膜厚を有する非磁性層32の端部32aも設けられるので、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域と第2反強磁性層33間の距離を効果的に広げることができ、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域とフリー磁性層28間に交換結合磁界がより適切に発生しないようにすることができる。

【0092】

またバックフィルギャップ層35の端部35aの厚みが薄い場合、後述のイオンミリング工程で前記端部35aが消滅し、厚い非磁性層32の端部32aのみが残される場合もある。この場合であっても後方領域には、厚い非磁性層32aが第3反強磁性層31と第2反強磁性層33の間に介在しているので両者が一体の反強磁性層として機能せず、上記した効果と同等の効果を発揮することができる。

【0093】

また例えば図1及び図2では前記非磁性層32は、前記第2反強磁性層33間の間隔Lにも残されるが、その膜厚は、前記非磁性層32の端部32aの膜厚よりも薄くなっている。なお前記間隔L内での非磁性層32及び前記非磁性層32bは形成されていなくてもよい。

【0094】

前記バックフィルギャップ層35の端部35a下に重ねて形成された非磁性層32の端部32a以外の非磁性層32はイオンミリングの影響を受けて膜厚が小さくなる。そして特に第2反強磁性層33と重ねられる非磁性層32bの膜厚を上記したように3Å以下の非常に薄い膜厚とすることで前記第2反強磁性層33と第3反強磁性層31とを一体の反強磁性層として機能させることができることになる。

【0095】

なお非磁性層32を3Å以下の非常に薄い膜厚で残すことができるのは、低エネルギーのイオンミリングを使用できるからである。元々、前記非磁性層32は成膜段階で3Å～10Åと薄い膜厚で形成されている。このため低エネルギーの

イオンミリングであっても十分に前記非磁性層32の膜厚調整をすらすことができ、低エネルギーであるからミリングレートは、高エネルギーの場合に比べて遅く、非磁性層32の途中まで削った段階でミリングを止めるように制御することも比較的簡単に行えるのである。

【0096】

また図1及び図2に示すように前記第2反強磁性層33は、前記フリー磁性層28の素子中央部Dの前方領域には形成されていないが、薄い膜厚で形成されていてもかまわない。このとき前記第2反強磁性層33の膜厚と前記第3反強磁性層31との膜厚が50Å以下となるように、前記素子中央部Dの前方領域に残される前記第2反強磁性層33の膜厚を調整する。これによって前記第3反強磁性層31の素子中央部Dの前方領域とフリー磁性層28間に交換結合磁界が生じずあるいは生じてもその値は小さく、前記フリー磁性層28の素子中央部Dの前方領域が強固に磁化固定されるといったことが無い。

【0097】

また図2及び図3に示すように前記バックフィルギャップ層35は、多層膜36のハイト側後端面36aよりもさらにハイト側後方に広がって形成されているが、このような形態により後述する製造工程で前記バックフィルギャップ層35の端部35aを容易に且つ適切に前記多層膜36上に乗り上げ形成することができる。

【0098】

図4は本発明における別の磁気検出素子の構造を示す部分平面図であるが、図4に示す磁気検出素子では、フリー磁性層28の素子中央部Dの後方領域が、前記フリー磁性層28の記素子両側端部Cよりもハイト方向(図示Y方向)に出っ張って形成され、前記フリー磁性層28の素子両側端部C上全体が前記第2反強磁性層33と膜厚方向で重なり、前記フリー磁性層28の素子両側端部C全体が図示X方向に強固に磁化固定された状態となっている。すなわち換言すれば図4に示す磁気検出素子では、前記第2反強磁性層33の交換結合磁界が生じる領域のハイト側後端面33aが、前記フリー磁性層28の前記素子中央部Dのハイト側後端面28aよりも記録媒体との対向面側に位置している。

【0099】

図4では前記フリー磁性層28の素子中央部Dの後端領域は、ハイト方向（図示Y方向）に出っ張っていることで、この後端領域では、磁性層内部で生じる交換相互作用により媒介されたバイアス磁界が弱まり、素子中央部Dの後方領域での磁化Iが前方領域での磁化Jよりも磁化反転しやすくなり、トータル的に見ると、前記フリー磁性層28の素子中央部Dでの再生感度を従来よりも向上させることができ。また前記フリー磁性層28の素子両側端部Cが完全に図示X方向に磁化固定されたことでサイドリーディングが発生する心配もない。

【0100】

図4では、前記フリー磁性層28の素子両側端部Cには、前記素子中央部Dのようにハイト側に後方領域が形成されていないが、点線で示すように前記素子両側端部Cにも前記素子中央部Dとトラック幅方向（図示X方向）と同じ位置に後方領域がハイト方向に延びて形成されていることが好ましい。それは前記フリー磁性層28の素子中央部Dの後方領域での単磁区化を適正に行うためで、前記フリー磁性層28の素子中央部Dの後方領域の磁化を適切に図示X方向に単磁区化するには、そのトラック幅方向の両側から前記素子中央部Dの後方領域に向けてバイアス磁界が供給されるように、フリー磁性層28の素子両側端部Cに、後方領域が形成されていることが好ましい。

【0101】

図4に示す第2反強磁性層33は例えば図3に示す第2反強磁性層33と異なる形状で形成される。図5は図4に示す磁気検出素子を一点鎖線からY-Z平面と平行な方向に切断し、その切断された面を矢印M方向から見た部分縦断面図である。

【0102】

なお図5に示す磁気検出素子は、前記フリー磁性層28及び第3反強磁性層31の素子両側端部Cに素子中央部Dと同様にハイト方向（図示Y方向）に延びる後方領域が形成された形態で示されている。

【0103】

図5に示すように前記第2反強磁性層33は、前記フリー磁性層28上に形成

された第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域に部分的に形成され、前記第2反強磁性層33は図3のように、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域上、およびバックフィルギャップ層35上にまで延びて形成されていない。

【0104】

図5に示すように前記第2反強磁性層33のハイト側後端面33aは、前記フリー磁性層28のハイト側後端面28aよりも記録媒体との対向面側に位置し、前記第2反強磁性層33のハイト側後端面33aよりもハイト側（図示Y方向側）には前記バックフィルギャップ層35が形成された状態になっている。そして前記第2反強磁性層33上から前記バックフィルギャップ層35上にかけて電極層34が形成されている。

【0105】

次に本発明におけるフリー磁性層28の形態について説明する。

図1ないし図5に示す磁気検出素子では、すべてフリー磁性層28は2層構造であり、非磁性材料層27と接する側の層が、CoFeやCoなどの拡散防止層29となっている。磁性材料層30はNiFe合金などの磁性材料で形成されている。

【0106】

前記フリー磁性層28は磁性材料の単層で形成されていてもよい。磁性材料としてはNiFe合金、CoFe合金、CoFeNi合金、Co、CoNi合金などを選択できる。このうち特に前記フリー磁性層28をCoFeNi合金で形成することが好ましい。

【0107】

図6は、前記フリー磁性層28の部分を中心に図示した部分拡大断面図である。断面は記録媒体との対向面側から見ている。

【0108】

図6に示す形態ではフリー磁性層28は3層構造である。前記フリー磁性層28を構成する符号37a、37b、37cの各層はすべて磁性材料の層であり、磁性材料層37aは、非磁性材料層27との間で元素の拡散を防止するための拡

散防止層である。前記磁性材料層37aはCoFeやCoなどで形成される。

【0109】

磁性材料層37cは、第3反強磁性層31と接して形成されている。前記磁性材料層37cは、CoFe合金で形成されることが好ましく、これによって前記磁性材料層37cと前記第3反強磁性層31間で発生する交換結合磁界を大きくできる。

【0110】

図6に示す3層構造の材質の組合せとしては、例えば磁性材料層37a:CoFe/磁性材料層37b:NiFe/磁性材料層37c:CoFeを提示できる。

【0111】

磁性材料のみで形成されたフリー磁性層28の膜厚は30Å～50Å程度で形成されることが好ましい。またフリー磁性層28に使用されるCoFe合金の組成比は、例えばCoが90at%、Feが10at%である。

【0112】

図7は、前記フリー磁性層28の別の実施形態を示す部分拡大断面図である。図7に示すフリー磁性層28は積層フェリ構造と呼ばれる構造である。これにより前記フリー磁性層28の物理的な厚みを極端に薄くすることなしに、磁気的な実効的フリー磁性層の膜厚を薄くでき、外部磁界に対する感度を向上させることができる。

【0113】

符号39、41の層は磁性層であり、符号40の層は非磁性中間層である。磁性層39および磁性層41は、例えばNiFe合金、CoFe合金、CoFeNi合金、Co、CoNi合金などの磁性材料で形成される。このうち特に前記磁性層39及び/または磁性層41は、CoFeNi合金で形成されることが好ましい。組成比としては、Feが9at%以上で17at%以下、Niが0.5at%以上で10at%以下、残りがCoのat%であることが好ましい。

【0114】

これにより前記磁性層39、41間に働くRKKY相互作用による結合磁界を

大きくできる。具体的にはスピンフロップ磁界（H_sf）を約293（kA/m）以上にできる。以上により、磁性層39と磁性層41との磁化を適切に反平行状態にできる。また上記した組成範囲内であると、フリー磁性層28の磁歪を -3×10^{-6} から 3×10^{-6} の範囲内に収めることができ、また保磁力を790（A/m）以下に小さくできる。

【0115】

さらに、前記フリー磁性層28の軟磁気特性の向上、非磁性材料層27間でのNiの拡散による抵抗変化量（ΔR）や抵抗変化率（ΔR/R）の低減の抑制を適切に図ることが可能である。

【0116】

また前記非磁性中間層40は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種または2種以上で形成されることが好ましい。

【0117】

前記磁性層39の膜厚は例えば35Å程度で、非磁性中間層40は例えば9Å程度で、前記磁性層41の膜厚は例えば15Å程度で形成される。

【0118】

また前記磁性層39と非磁性材料層27との間には、CoFe合金やCoで形成された拡散防止層が設けられていてもよい。さらには、前記磁性層41と第3反強磁性層31間にCoFe合金で形成された磁性層が介在していてもよい。

【0119】

かかる場合、磁性層39及び／または磁性層41がCoFeNi合金で形成されるとき、前記CoFeNi合金のFeの組成比は7原子%以上で15原子%以下で、Niの組成比は5原子%以上で15原子%以下で、残りの組成比はCoであることが好ましい。

【0120】

これにより前記磁性層39、41間で発生するRKKY相互作用における交換結合磁界を強くすることができる。具体的には、スピンフロップ磁界（H_sf）を約293（kA/m）にまで大きくすることができる。よって磁性層39、41の磁化を適切に反平行状態にすることができます。

【0121】

また上記した組成範囲内であると、フリー磁性層28の磁歪を -3×10^{-6} から 3×10^{-6} の範囲内に収めることができ、また保磁力を790(A/m)以下に小さくできる。さらに、前記フリー磁性層28の軟磁気特性の向上を図ることができる。

【0122】

図8は本発明におけるフリー磁性層28の別の形態を示す部分拡大断面図である。図8に示すフリー磁性層28には、磁性層42、44間にスペキュラー膜43が形成されている。前記スペキュラー膜43には、図8に示すように欠陥部(ピンホール)Gが形成されていてもよい。また図8に示す実施形態ではスペキュラー膜(鏡面反射層)43を挟んだ磁性層42及び磁性層44は同じ方向(矢印方向)に磁化されている。

【0123】

磁性層42、44にはNiFe合金、CoFe合金、CoFeNi合金、Co、CoNi合金などの磁性材料が使用される。

【0124】

図8のようにスペキュラー膜43がフリー磁性層28内に形成されると前記スペキュラー膜43に達した伝導電子(例えばアップスピンを持つ伝導電子)は、そこでスピニ状態(エネルギー、量子状態など)を保持したまま鏡面反射する。そして鏡面反射した前記アップスピンを持つ伝導電子は、移動向きを変えてフリー磁性層内を通り抜けることが可能になる。

【0125】

このため本発明では、スペキュラー膜43を設けることで、前記アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_+ を従来に比べて伸ばすことが可能になり、よって前記アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_+ と、ダウンスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_- との差を大きくすることができ、従って抵抗変化率($\Delta R/R$)の向上とともに、再生出力の向上を図ることが可能になる。

【0126】

前記スペキュラー膜43の形成は、例えば磁性層42までを成膜し、前記磁性

層4 2表面を酸化する。この酸化層をスペキュラー膜4 3として機能させることができる。そして前記スペキュラー膜4 3上に磁性層4 4を成膜する。

【0127】

前記スペキュラー膜4 3の材質としては、Fe-O、Ni-O、Co-O、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al-O、Al-Q-O（ここでQはB、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-O（ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の酸化物、Al-N、Al-Q-N（ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-N（ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の窒化物、半金属ホイッスラー合金などを提示できる。

【0128】

図9は本発明におけるフリー磁性層2 8の別の形態を示す部分拡大断面図である。

【0129】

図9に示すフリー磁性層2 8は、磁性層4 5とバックド層4 6とで構成されている。前記バックド層4 6は例えばCu、Au、Cr、Ruなどで形成される。前記磁性層4 5はNiFe合金、CoFe合金、CoFeNi合金、Co、CoNi合金などの磁性材料で形成される。

【0130】

前記バックド層4 6が形成されることによって、磁気抵抗効果に寄与するアップスピンの伝導電子（上向きスピン：up spin）における平均自由行程（mean free path）を延ばし、いわゆるスピンフィルター効果（spin filter effect）によりスピンバルブ型磁気素子において、大きな抵抗変化率が得られ、高記録密度化に対応できるものとなる。また前記バックド層4 6は交換結合を媒介する作用も有するため、第3反強磁性層3 1と磁性層4 5間の交換結合磁界は若干、減少するものの十分な値に保たれる。

【0131】

ところで図1ないし図5に示す磁気検出素子は、基板20から非磁性層32までの多層膜の素子両側端部C上に第2反強磁性層33を介して電極層34が設けられ、前記多層膜内に流れる電流が、前記多層膜内を各層の膜面に対して平行な方向に流れるCIP (current in the plane) 型の磁気検出素子と呼ばれる構造である。

【0132】

本発明では、CIP型の磁気検出素子に限らず、前記多層膜の上下に電極層が設けられ、前記電極層から前記多層膜内に流れる電流が、前記多層膜の各層の膜面に対し垂直方向に流れるCPP (current perpendicular to the plane) 型と呼ばれる構造であってもよい。

【0133】

ただしかかる場合、図1ないし図5において電極層34が形成される部分はAl₂O₃やSiO₂などの絶縁層で形成される。さらにこの絶縁層、あるいは前記絶縁層と別工程で形成された絶縁層が第2反強磁性層33の内側端面33a上にも延びて形成されていることが好ましい。また基板20は下部電極を兼ね備えた磁性材料の下部シールド層で形成され、さらに前記絶縁層上から前記第2反強磁性層33のトラック幅方向 (図示X方向) に形成された間隔L内にかけて上部電極を兼ね備えた磁性材料の上部シールド層が形成される。

【0134】

また必要であれば、少なくとも前記間隔L内に非磁性層 (図示しない) を設けてよい。前記非磁性層は、Ta、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuなどの非磁性導電材料で形成されることが好ましい。前記非磁性層は上部ギャップ層として機能する。

【0135】

また上記のCPP型の磁気検出素子では磁気検出素子を構成する非磁性材料層27がCuなどの非磁性導電材料で形成されてもよいし、あるいは前記非磁性材料層27がAl₂O₃やSiO₂などの絶縁材料で形成されてもよい。前者の磁気検出素子はスピナバルブGMR型磁気抵抗効果素子 (CPP-GMR) と呼ばれる構造であり、後者の磁気検出素子はスピナバルブトンネル型磁気抵抗効果型素

子（C P P - T M R）と呼ばれる構造である。

【0136】

トンネル型磁気抵抗効果型素子は、スピントンネル効果を利用して抵抗変化を生じさせるものであり、固定磁性層23とフリー磁性層28との磁化が反平行のとき、最も前記非磁性材料層27を介してトンネル電流が流れにくくなつて、抵抗値は最大になり、一方、前記固定磁性層23とフリー磁性層28との磁化が平行のとき、最もトンネル電流は流れ易くなり抵抗値は最小になる。

【0137】

この原理を利用し、外部磁界の影響を受けてフリー磁性層28の磁化が変動することにより、変化する電気抵抗を電圧変化（定電流動作時）あるいは電流変化（定電圧動作時）としてとらえ、記録媒体からの洩れ磁界が検出されるようになつてゐる。

【0138】

図10ないし図19は図1に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図である。

【0139】

図10は製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0140】

図10に示す工程では、基板20上に、シードレイヤ21、第1反強磁性層22、固定磁性層23、非磁性材料層27、フリー磁性層28、第3反強磁性層31、および非磁性層32を連続成膜する。成膜にはスパッタや蒸着法が使用される。前記スパッタ法には、DCマグネットロンスパッタ法、RFスパッタ法、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法などを使用できる。

【0141】

図10に示す固定磁性層23は、例えばCoFe合金などで形成された磁性層24と磁性層26と、両磁性層24、26間に介在するRuなどの非磁性の中間層25との積層フェリ構造である。前記フリー磁性層28は、CoFe合金など

の拡散防止層29とNiFe合金などの磁性材料層30との積層構造である。

【0142】

本発明では前記第1反強磁性層22及び第3反強磁性層31を、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で形成することが好ましい。

【0143】

また前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが47～57at%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、～で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0144】

また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X' + Ptが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X' + Ptが47～57at%の範囲であることがより好ましい。さらに、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'が0.2～10at%の範囲であることが好ましい。ただし、X'がPd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である場合には、X'は0.2～40at%の範囲であることが好ましい。

【0145】

また本発明では前記第1反強磁性層22の膜厚を80Å以上で300Å以下で形成することが好ましい。この程度の厚い膜厚で前記第1反強磁性層22を形成することにより磁場中アニールで、前記第1反強磁性層22と固定磁性層23間に大きな交換結合磁界を発生させることができる。具体的には、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を発生させることができる。

【0146】

また本発明では前記第3反強磁性層31の膜厚を20Å以上で50Å以下で形成することが好ましく、より好ましくは30Å以上で40Å以下で形成する。

【0147】

上記のように前記第3反強磁性層31を50Å以下の薄い膜厚で形成することにより、前記第3反強磁性層31は非反強磁性の性質を帯びる。このため下記の第1の磁場中アニールを施しても、前記第3反強磁性層31は規則化変態しにくく、前記第3反強磁性層31とフリー磁性層28間に交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さく、前記フリー磁性層28の磁化が、固定磁性層23と同じように強固に固定されることがない。

【0148】

また前記第3反強磁性層31が20Å以上、好ましくは30Å以上で形成されるとしたのは、この程度の膜厚がないと、後工程で前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域上に第2反強磁性層33を形成しても、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域が反強磁性の性質を帯び難く、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域とフリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域間に適切な大きさの交換結合磁界が発生しないからである。

【0149】

また図10工程のように前記第3反強磁性層31上に非磁性層32を形成することで、図10に示す多層膜が大気暴露されても前記第3反強磁性層31が酸化されるのを適切に防止できる。

【0150】

ここで前記非磁性層32は大気暴露によって酸化されにくい緻密な層である必要がある。また熱拡散などにより前記非磁性層32を構成する元素が第3反強磁性層31内部に侵入しても反強磁性層としての性質を劣化させない材質である必要がある。

【0151】

本発明では前記非磁性層32をRu、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rhのいずれか1種または2種以上からなる貴金属またはCrで形成することが好ましい。

【0152】

Ruなどの貴金属からなる非磁性層32は大気暴露によって酸化されにくい緻密な層である。したがって前記非磁性層32の膜厚を薄くしても前記第3反強磁性層31が大気暴露によって酸化されるのを適切に防止できる。

【0153】

本発明では前記非磁性層32を3Å以上で10Å以下で形成することが好ましい。この程度の薄い膜厚の非磁性層32によっても適切に前記第3反強磁性層31が大気暴露によって酸化されるのを適切に防止することが可能である。このように薄い膜厚で前記非磁性層32を形成したことによって図15工程でのイオンミリングを低エネルギーで行うことができミリング制御を従来に比べて向上させることができる。この点については図15工程で詳しく説明する。

【0154】

図10に示すように基板20上に非磁性層32までの各層を積層した後、第1の磁場中アニールを施す。トラック幅Tw(図示X方向)と直交する方向である第1の磁界(図示Y方向)を印加しつつ、第1の熱処理温度で熱処理し、第1の反強磁性層22と固定磁性層23を構成する磁性層24との間に交換結合磁界を発生させて、前記磁性層24の磁化を図示Y方向に固定する。もう一方の磁性層26の磁化は、前記磁性層24との間で働くRKKY相互作用による交換結合によって図示Y方向とは逆方向に固定される。なお例えば前記第1の熱処理温度を270°Cとし、磁界の大きさを800(kA/m)とする。

【0155】

また上記したように、この第1の磁場中アニールによって前記第3反強磁性層31とフリー磁性層28を構成する磁性材料層30との間には交換結合磁界は発生しないかあるいは発生してもその値は小さい。前記第3反強磁性層31は50Å以下の薄い膜厚で形成されており、反強磁性としての性質を有していないからである。

【0156】

また上記した第1の磁場中アニールによって、非磁性層32を構成するRuなどの貴金属元素が、第3反強磁性層31内部に拡散するものと考えられる。従つ

て熱処理後における前記第3反強磁性層31の表面近くの構成元素は、反強磁性層を構成する元素と貴金属元素とから構成される。また前記第3反強磁性層31内部に拡散した貴金属元素は、前記第3反強磁性層31の下面側よりも前記第3反強磁性層31の表面側の方が多く、拡散した貴金属元素の組成比は、前記第3反強磁性層31の表面から下面に向うに従って徐々に減るものと考えられる。このような組成変調は、S I M S分析装置やT E MによるE D X分析などで確認することが可能である。

【0157】

次に図11に示す工程を施す。図12は製造工程中の磁気検出素子を真上から見た部分平面図であり、図12の一点鎖線から前記磁気検出素子をY-Z平面と平行な方向に切断し、その切断された断面を矢印N方向から見た縦断面図が図11である。なお図12は図11に示す磁気検出素子の図に比べて縮小して示されている。

【0158】

図11工程及び図12工程を見てわかるように、図10工程後、前記非磁性層32上にリフトオフ用のレジスト層60を形成する。前記レジスト層60は真上から見ると例えば図12のような形状であり、図12に示すレジスト層60内の点線60aは、前記レジスト層60の下方に形成された切欠部60bの側面60aを示している（図11を参照されたい）。

【0159】

なおこのレジスト層60は前記シードレイヤ21から非磁性層32までの多層膜36の形状、特に前記多層膜36のハイト側後端面36aを所定形状に画定するためのものであり、次の図13工程では前記レジスト層60に覆われていない前記多層膜36をイオンミリングで除去する。

【0160】

図13は図11と同様の断面から見た製造工程中の磁気検出素子の縦断面図であり、前記レジスト層60に覆われていないシードレイヤ21から非磁性層32までの多層膜36をイオンミリングで除去する。このときの前記イオンミリングのミリング角度は、基板20表面に対し垂直方向あるいはそれに近い角度であ

ることが好ましい。図13に示すように前記イオンミリングによってハイト側後端面36a及び記録媒体との対向面側前端面36bは、ハイト方向（図示Y方向）への長さ寸法が下方から上方に向けて（図示Z方向に向けて）徐々に小さくなるように傾斜面あるいは湾曲面として形成される。なお前記多層膜36の平面形状は、図12に示すレジスト層60の平面形状とほぼ同じ形状となる。

【0161】

次に図14工程（製造工程中の磁気検出素子の部分縦断面図）では、前記多層膜36の周囲にバックフィルギャップ層（絶縁層）35をスパッタ成膜する。図14に示す縦断面では前記バックフィルギャップ層35が前記多層膜36のハイト側後端面36aよりもハイト側（図示Y方向）の領域及び記録媒体との対向面側前端面36bよりも記録媒体との対向面側（図示Y方向と逆方向）の領域に成膜されることがわかる。

【0162】

しかもこの工程では、前記バックフィルギャップ層35を成膜するときのスパッタ角度を適切に調整し、前記レジスト層60に形成された切欠部60b内にも前記バックフィルギャップ層35を潜り込ませ、前記バックフィルギャップ層35の端部35aが前記多層膜36上に乗り上げ形成されるようにしている。

【0163】

この工程において前記バックフィルギャップ層35を成膜するときのスパッタ角度θ1は、基板20表面に対し垂直方向から30°～70°傾いた角度とすることが好ましい。これにより前記バックフィルギャップ層35の端部35aを適切に前記多層膜36上に乗り上げ形成することができる。また前記バックフィルギャップ層35を成膜するときのスパッタ角度のみならず、図12工程で前記レジスト層60の下面のハイト方向における長さ寸法T1（図14を参照されたい）を適切に調整することで、前記バックフィルギャップ層35の端部35aの多層膜36上に乗り上げた長さ寸法T2を所定範囲内に調整できる。なおこの長さ寸法T2は図19の最終工程で「記録媒体との対向面」が画定されたとき、前記フリー磁性層28の前記記録媒体との対向面からハイト側後端面28aまでの長さ寸法に対し20%から30%程度占めるように、調整される。

【0164】

またこの工程で、前記レジスト層60上にもバックフィルギャップ層35と同じ材質の絶縁材料層35bが付着する。

【0165】

次に図15工程（製造工程中の磁気検出素子の部分縦断面図）では図14工程のレジスト層60を除去し、前記バックフィルギャップ層35の端部35a間に現われた非磁性層32をイオンミリングで除去する。

【0166】

図15に示すイオンミリング工程では、低エネルギーのイオンミリングを使用できる。その理由は、前記非磁性層32が3Å～10Å程度の非常に薄い膜厚で形成されているからである。本発明では、Ruなどで形成された非磁性層32は3Å～10Å程度の薄い膜厚であっても、第3反強磁性層31が酸化されるのを十分に防止でき、低エネルギーのイオンミリングによって前記非磁性層32の途中でミリングを止めるようにミリング制御しやすい。

【0167】

このように本発明では低エネルギーのイオンミリングを使用でき、従来に比べてミリング制御を向上させることができる。ここで低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が1000V未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、100V～500Vのビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、200Vの低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。

【0168】

図15に示す工程では、上記のイオンミリングによって前記バックフィルギャップ層35の端部35a間に現われた非磁性層32が削られ、図15では前記端部35a間に前記非磁性層32が非常に薄い膜厚で残される。前記端部35a間に非磁性層32はすべて除去されてもよいが、図15のように一部、前記端部35a間に非磁性層32を残す場合、その膜厚は3Å以下であることが好ましい。

【0169】

その理由は、後の工程で前記端部35a間に非磁性層32上に第2反強磁性層

33を形成するが、前記非磁性層32の膜厚が厚いと、その下の第3反強磁性層31と前記第2反強磁性層33とが一体の反強磁性層として機能しなくなり、適切に前記フリー磁性層28の磁化制御を行うことができないからである。

【0170】

また図15に示すように、前記バックフィルギャップ層35の端部35a下の前記非磁性層32の端部32aは、上記のイオンミリングの影響を受けないので、前記非磁性層32の端部32aは成膜時の膜厚で残されることになる。従って図15工程終了後、前記非磁性層32の端部32aがバックフィルギャップ層35の端部35a間に露出した非磁性層32の膜厚よりも厚い状態で残されることになる。

【0171】

次に図16工程（成膜中の磁気検出素子の部分縦断面図）では、前記前記バックフィルギャップ層35に覆われておらず露出している非磁性層32及びバックフィルギャップ層35の全面に、真空状態を破らずに第2反強磁性層33及び電極層34を連続してスパッタ成膜する。

【0172】

前記第2反強磁性層33を第3反強磁性層31と同じPtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成することが好ましい。また前記電極層34を、例えば、Au、W、Cr、Ru、Rh、Taなどで形成する。

【0173】

次に図17工程は、製造工程中の磁気検出素子を真上から見た部分平面図である。なお図17は図16に示す製造工程中の磁気検出素子の大きさよりも縮小した図である。図17工程では、図16に示す電極層34上に図17に示す形状のマスク層61を形成する。前記マスク層61は、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cとなる平面領域とほぼ同位置に形成される。前記マスク層61はレジ

ストであってもよいし、あるいはメタル層や絶縁層であってもよい。例えば前記マスク層61をメタル層や絶縁層で形成する場合は、図17に示すマスク層61を形成する領域以外の部分に露光現像でレジスト層を形成し、マスク層61が形成されるべき領域にメタル層や絶縁層をスパッタ成膜した後、前記レジスト層を除去する。前記マスク層61をメタル層で形成するとき、例えば前記マスク層61をTa、Cr、Ti、Si、Zr、Nb、Mo、Hf、Wで形成する。なお前記マスク層61はメタル層であることが好ましい。その理由はこのマスク層61を次工程のエッティング終了後も電極の一部として機能させることができるからである。

【0174】

ここで図17に示すトラック幅方向（図示X方向）におけるマスク層61間に開けられた間隔の幅T3は、トラック幅Twを規制すべき幅よりやや大きい幅となるため、できる限り前記幅T3を狭く形成することが好ましい。この工程では前記幅T3を0.1μm～0.3μm程度で形成することが好ましい。

【0175】

また図17に示す点線部分は、シードレイヤ21から非磁性層32までの多層膜36の形成領域を示している。このように前記マスク層61が前記多層膜36と重なる部分での、前記マスク層61の平面形状の大きさを前記多層膜36の平面形状の大きさよりも若干大きく形成する。これは前記多層膜36の素子両側端部C上を確実に第2反強磁性層33で覆うことができるようにして、前記フリー磁性層28の磁化制御を適切に行うためである。

【0176】

そして図18工程（製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図）では、前記マスク層61に覆われていない前記電極層34及び第2反強磁性層33をイオンミリングやリアクティブ・イオン・エッティング（RIE）などで除去する（点線部分の電極層34及び第2反強磁性層33が除去される）。このときのエッティング方向は、基板20表面に対し垂直方向あるいはそれに近い方向であることが好ましい。

【0177】

図18の記録媒体との対向面側から見た断面図に示すように、RIEなどによって前記電極層34及び第2反強磁性層33の図面の中央部が削られ、そこに間隔Lが形成される。

【0178】

ここでどの層までRIEによって削り込むかであるが、図18のように素子中央部Dから非磁性層32が露出した瞬間、エッチングを止めてもよいし、あるいは露出した前記非磁性層32も除去し、その下の第3反強磁性層31が露出した瞬間、エッチングを止めてもよい。またこのとき前記第3反強磁性層31の素子中央部Dが若干削り込まれてもよい。または図18に示すように前記素子中央部Dに薄い膜厚の第2反強磁性層33bが残されてもよい。ただしこのとき前記第2反強磁性層33bの膜厚と第3反強磁性層31の膜厚とを足し合わせた総合膜厚が50Å以下となるように、前記第2反強磁性層33bの膜厚を調整する。そうしないと前記素子中央部Dでも大きな交換結合磁界が発生することで、前記フリーマ磁性層28の素子中央部Dが強く磁化固定されてしまうからである。

【0179】

またこの図18工程において、素子両側端部C上に残された第2反強磁性層33及び電極層34の内側端面33a、34aは、下方から上方に向うにしたがつて徐々に前記間隔Lのトラック幅方向への幅寸法が大きくなる傾斜面あるいは湾曲面として形成される。

【0180】

またこの図18工程で前記電極層34上に形成されたマスク層61もRIE等の影響を受けて削られ、成膜時よりも薄い膜厚の前記マスク層61が前記電極層34上に残されたり、あるいは前記マスク層61がすべて除去される。

【0181】

また図18に示すように前記第2反強磁性層33の間隔L内における下面間の幅でトラック幅Twが決定される。このトラック幅Twは、図17に示すマスク層61間の幅T3よりやや狭い幅となるので、前記トラック幅Twを0.1μm～0.2μm程度の非常に小さい値に設定することができる。

【0182】

ところでこの図18工程が終了した時点で、前記第2反強磁性層33は、図2や図3に示すのと同じ形成位置、すなわち第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域から後方領域に形成されたバックフィルギャップ層35の端部35a上にかけて残された状態となっている。

【0183】

次に第2の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示X方向）である。なおこの第2の磁場中アニールは、第2の印加磁界を、第1反強磁性層22の交換異方性磁界よりも小さく、またフリー磁性層28の保磁力や異方性磁界よりも大きく、しかも熱処理温度を、前記第1反強磁性層22のブロッキング温度よりも低くする。これによって前記第1反強磁性層22、第3反強磁性層31及び第2反強磁性層33をすべて同様の材質、例えばPtMn合金を用いて形成しても、前記第1反強磁性層22の交換異方性磁界の方向をハイト方向（図示Y方向）に向けたまま、前記第3反強磁性層31の交換異方性磁界をトラック幅方向（図示X方向）に向けることができる。なお第2の熱処理温度は例えば250°Cであり、磁界の大きさは24（kA/m）である。

【0184】

上記のように第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域上に非磁性層32を介して第2反強磁性層33が形成されることで、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域と第2反強磁性層33との反強磁性的な相互作用が強まり、単独では反強磁性の性質を有さなかった前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域が反強磁性の性質を帯びる。

【0185】

このため上記の第2の磁場中アニールによって、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域は適切に規則化変態し、前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域とフリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域との間に適切な大きさの交換結合磁界が発生する。これによって前記フリー磁性層28の素子両側端部Cの前方領域の磁化は、トラック幅方向（図示X方向）に固定される。

【0186】

一方、上記の第2の磁場中アニールによっても、フリー磁性層28の素子中央部Dや素子両側端部Cの後方領域には第3反強磁性層31と間で直接的には交換結合磁界が発生しない。

【0187】

そして本発明では、既に説明した図2に示すように、特にフリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域が磁化固定されず、ここでバイアス磁界が弱められることで前記フリー磁性層28の素子中央部Dの後方領域での磁化反転を従来よりも良好にし、これによって前記フリー磁性層28の素子中央部Dでの再生感度を従来よりも向上させることができるとともに、サイドリーディングの発生を適切に抑制できる磁気検出素子を容易且つ適切に製造することができる。

【0188】

図19は最終製造工程を示す図であり、図19は製造工程中の磁気検出素子の部分縦断面図である。

【0189】

図19に示す工程では、磁気検出素子をX-Z平面と垂直な方向から矢印Y方向に一点鎖線の位置まで研磨していく。この工程では前記磁気検出素子の下に形成された例えば $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiC}$ で形成されたスライダ（図示しない）も同時に研磨されていく。

【0190】

図19に示す一点鎖線の位置まで研磨すると、そのZ-X平面が「記録媒体との対向面」となり、図1ないし図3に示す磁気検出素子が完成する。ここで、どこまで前記磁気検出素子を削り込むかであるが、それは図19に示す「前方領域」のハイト方向への長さ寸法が、フリー磁性層28の記録媒体との対向面からハイト側後端面28aまでのハイト方向への長さ寸法に対し70%から80%占めるように、具体的には前記「前方領域」のハイト方向への長さ寸法が0.03μmよりも大きくなるように、前記磁気検出素子に対する削り込み位置を決定する。

図19に示すように前記第2反強磁性層33は、素子両側端部Cの前方領域では第3反強磁性層31上に非常に薄い膜厚の非磁性層32を介して対向して形成さ

れ、一方、素子両側端部Cの後方領域では第3反強磁性層31上のバックフィルギャップ層35の端部35a上に形成される。

【0191】

なお上記の第2の磁場中アニール工程は、図19工程の終了時点で行ってもよいが、かかる場合、反強磁性層としてPtMn合金を用い、Ir20Mn80等が第2反強磁性層33、第3反強磁性層31として用いられる。

【0192】

図10ないし図19に示す製造工程で最も特徴的なのは図14工程で、バックフィルギャップ層35の端部35aを多層膜36上に乗り上げ形成する点である。この工程を用いることで前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域上にバックフィルギャップ層35の端部35aを介して第2反強磁性層33を形成することができる。

【0193】

特に図14工程ではリフトオフ用のレジスト層60を用い、前記バックフィルギャップ層35を成膜するときのスパッタ角度を調整し、さらに前記レジスト層60のハイト方向への長さ寸法T1を適切に調整することで、前記バックフィルギャップ層35の端部35aを所定の長さで前記多層膜36上に乗り上げ形成することができる。

【0194】

さらに図13工程で前記多層膜36のハイト側後端面36aを所定形状に画定した後、図14工程を施すことで、前記バックフィルギャップ層35を前記多層膜36のハイト側後端面36aよりもさらにハイト側へ埋め込む作業と、前記バックフィルギャップ層35の端部35aを前記多層膜36の後方領域上へ乗り上げ形成する作業とを同時にを行うことができ、製造工程の簡略化を図ることができて好ましい。

【0195】

また図10ないし図19工程では、第3反強磁性層31上に酸化防止層となる非磁性層32を設けているが、この非磁性層32の材質や膜厚を適切に調整することで、図15工程で低エネルギーのイオンミリングを使用して前記非磁性層3

2を除去でき、よって第3反強磁性層31の素子両側端部Cの前方領域と第2反強磁性層33とを適切に一体の反強磁性層として機能させることができ、前記フリーマ磁性層28の磁化制御をより適切に行うことが可能になる。

【0196】

また前記非磁性層32の端部32aは図15工程時、バックフィルギャップ層35の端部35a下に形成され、このバックフィルギャップ層35の端部35aの存在により、イオンミリングの影響を受けず、成膜当初の膜厚で残される。

【0197】

よって第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域上に、バックフィルギャップ層35の端部35aと成膜当初の膜厚を有する非磁性層32の端部32aとを残すことができ、前記第2反強磁性層33と前記第3反強磁性層31の素子両側端部Cの後方領域間の距離を効果的に離すことが可能になる。

【0198】

なお磁気検出素子をCPP型の磁気検出素子とする場合は、図10工程で基板20を下部電極を兼ね備えた下部シールド層として形成し、また図16工程で電極層34が形成されるべき領域に絶縁層を形成し、さらに図18工程後、前記絶縁層上から間隔L内にかけて上部電極を兼ね備えた上部シールド層を形成すればよい。

【0199】

なお上述したCIP型の磁気検出素子を用いて磁気ヘッドを構成するときには、基板20とシードレイヤ21の間に、アルミナなどの絶縁性材料からなる下地層、この下地層上に積層される磁性合金からなる下部シールド層、及びこの下部シールド上に積層される絶縁性材料からなる下部ギャップ層が形成される。磁気検出素子は前記下部ギャップ層上に積層される。また、この磁気検出素子上には、絶縁性材料からなる上部ギャップ層、及びこの上部ギャップ層上に積層される磁性合金からなる上部シールド層が形成される。また、前記上部シールド層上に書き込み用のインダクティブ素子が積層されてもよい。

【0200】

また本発明における磁気検出素子はハードディスク装置に内蔵される磁気ヘッ

ドに装備されるほか磁気センサなどにも使用可能である。

【0201】

【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明によれば、フリー磁性層の素子両側端部のハイト側後方領域に絶縁層を設け、前記第2反強磁性層を、記録媒体との対向面側から前記絶縁層上にかけて形成する。

【0202】

前記絶縁層よりも記録媒体との対向面側の前方領域では、前記フリー磁性層と第2反強磁性層間で適切な大きさの交換結合磁界が生じ、前記フリー磁性層の素子両側端部の前記前方領域を適切にトラック幅方向に磁化固定できる。一方、前記フリー磁性層の素子両側端部の後方領域では、前記第2反強磁性層との間に絶縁層が設けられているため、前記フリー磁性層の後方領域と前記第2反強磁性層との間に交換結合磁界は発生せず、従って前記フリー磁性層の後方領域が、前方領域のように強固にトラック幅方向に磁化固定されるといったことがない。

【0203】

その結果、前記フリー磁性層の後方領域では、磁性層内部で生じる交換相互作用により媒介されたバイアス磁界が前方領域に比べて弱まり、後方領域でのバイアス磁界を弱めた結果、前記フリー磁性層の素子中央部での外部磁界に対する再生感度を、交換スティフネス定数を低減させることなく、従来に比べて向上させることが可能になる。

【0204】

しかも本発明では、前記フリー磁性層の素子両側端部の、前記第2反強磁性層との間で交換結合磁界が生じる領域は、記録媒体との対向面側に適切に形成されているので、前記フリー磁性層の素子両側端部の記録媒体との対向面側の領域は適切にトラック幅方向に磁化固定されており、サイドリーディングが発生するといった不具合も生じない。

【0205】

よって本発明によれば、高記録密度化に適切に対応するために狭トラック化を促進させても、サイドリーディングの発生を抑制しつつ、前記フリー磁性層の外

部磁界に対する再生感度を向上させることができ、高記録密度化においても効果的に再生出力の向上を図ることが可能な磁気検出素子を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図2】

図1に示す磁気検出素子をX-Y平面と平行な方向に一点鎖線の位置で切断し、その切断された磁気検出素子を矢印A方向から見た部分平面図、

【図3】

図1に示す磁気検出素子をY-Z平面と平行な方向に点線の位置で切断し、その切断された磁気検出素子を矢印B方向から見た部分縦断面図、

【図4】

本発明の別の実施の形態である磁気検出素子の構造を真上から見た部分平面図、

【図5】

図4に示す磁気検出素子をY-Z平面と平行な方向に一点鎖線の位置で切断し、その切断された磁気検出素子を矢印M方向から見た部分縦断面図、

【図6】

本発明におけるフリー磁性層の形態を記録媒体との対向面側から見た部分拡大断面図、

【図7】

本発明におけるフリー磁性層の別の形態を記録媒体との対向面側から見た部分拡大断面図、

【図8】

本発明におけるフリー磁性層の別の形態を記録媒体との対向面側から見た部分拡大断面図、

【図9】

本発明におけるフリー磁性層の別の形態を記録媒体との対向面側から見た部分拡大断面図、

【図10】

図1の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図であり、製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図11】

図10の次に行なわれる一工程図であり、図12に示す磁気検出素子をY-Z平面と平行な方向に一点鎖線の位置で切断し、その切断された磁気検出素子を矢印N方向から見た部分縦断面図、

【図12】

図11に示す工程図を真上から見た図、

【図13】

図11の次に行なわれる一工程図であり、製造工程中の磁気検出素子の部分縦断面図、

【図14】

図13の次に行なわれる一工程図であり、製造工程中の磁気検出素子の部分縦断面図、

【図15】

図14の次に行なわれる一工程図であり、製造工程中の磁気検出素子の部分縦断面図、

【図16】

図15の次に行なわれる一工程図であり、製造工程中の磁気検出素子の部分縦断面図、

【図17】

図16の次に行なわれる一工程図であり、製造工程中の磁気検出素子を真上から見た部分平面図、

【図18】

図17の次に行なわれる一工程図であり、製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図19】

図18の次に行なわれる一工程図であり、製造工程中の磁気検出素子の部分縦断

面図、

【図20】

従来における磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図21】

図20に示す磁気検出素子を真上から見た部分平面図、

【図22】

図20に示す磁気検出素子をY-Z平面と平行な方向に一点鎖線の位置で切断し、その切断された磁気検出素子を矢印E方向から見た部分縦断面図、

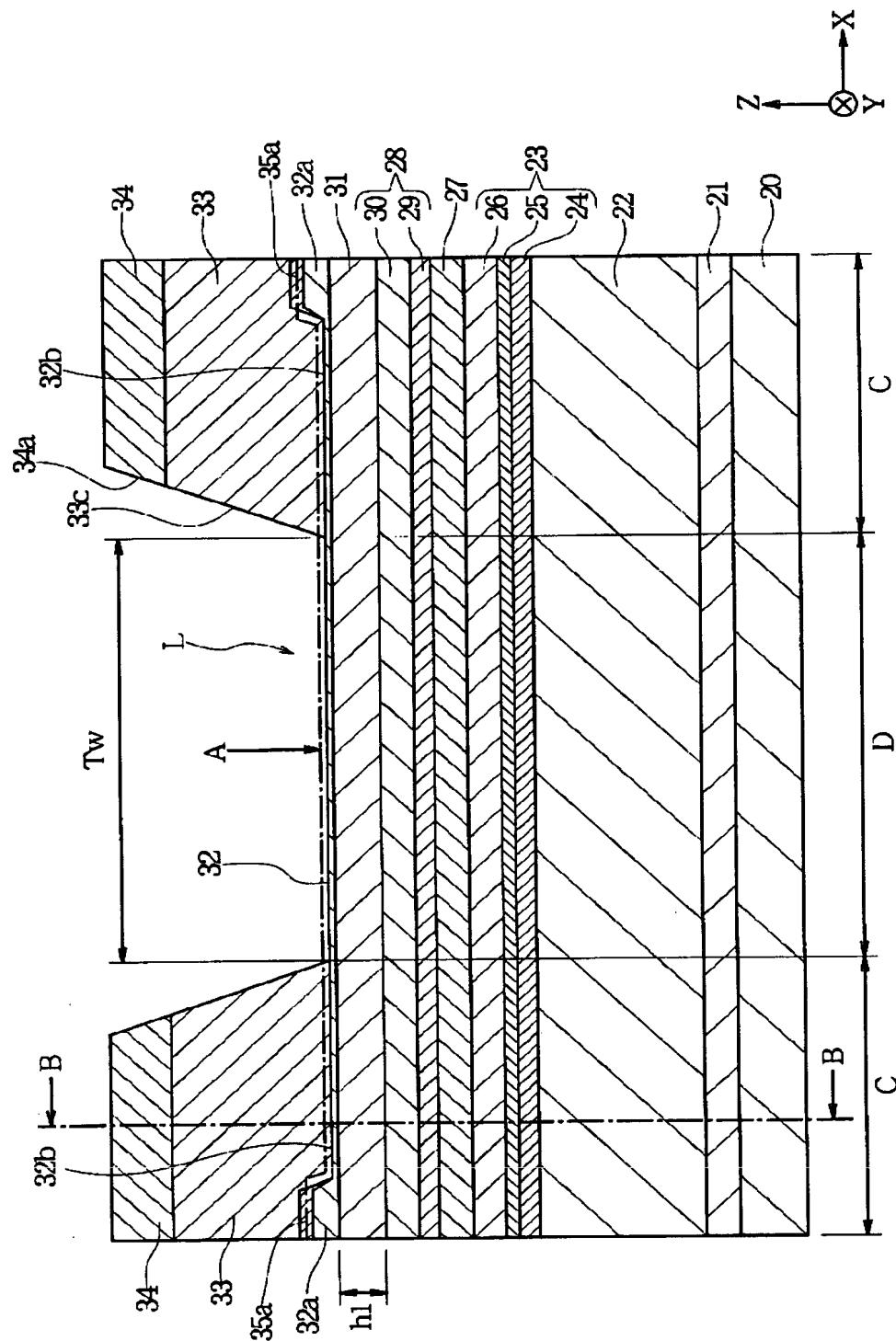
【符号の説明】

- 20 基板
- 21 シードレイヤ
- 22 第1反強磁性層
- 23 固定磁性層
- 27 非磁性材料層
- 28 フリー磁性層
- 31 第3反強磁性層
- 32 非磁性層
- 33 第2反強磁性層
- 34 電極層
- 35 バックフィルギャップ層（絶縁層）
- 36 多層膜
- 60 レジスト層
- 61 マスク層
- C 素子両側端部
- D 素子中央部

【書類名】図面

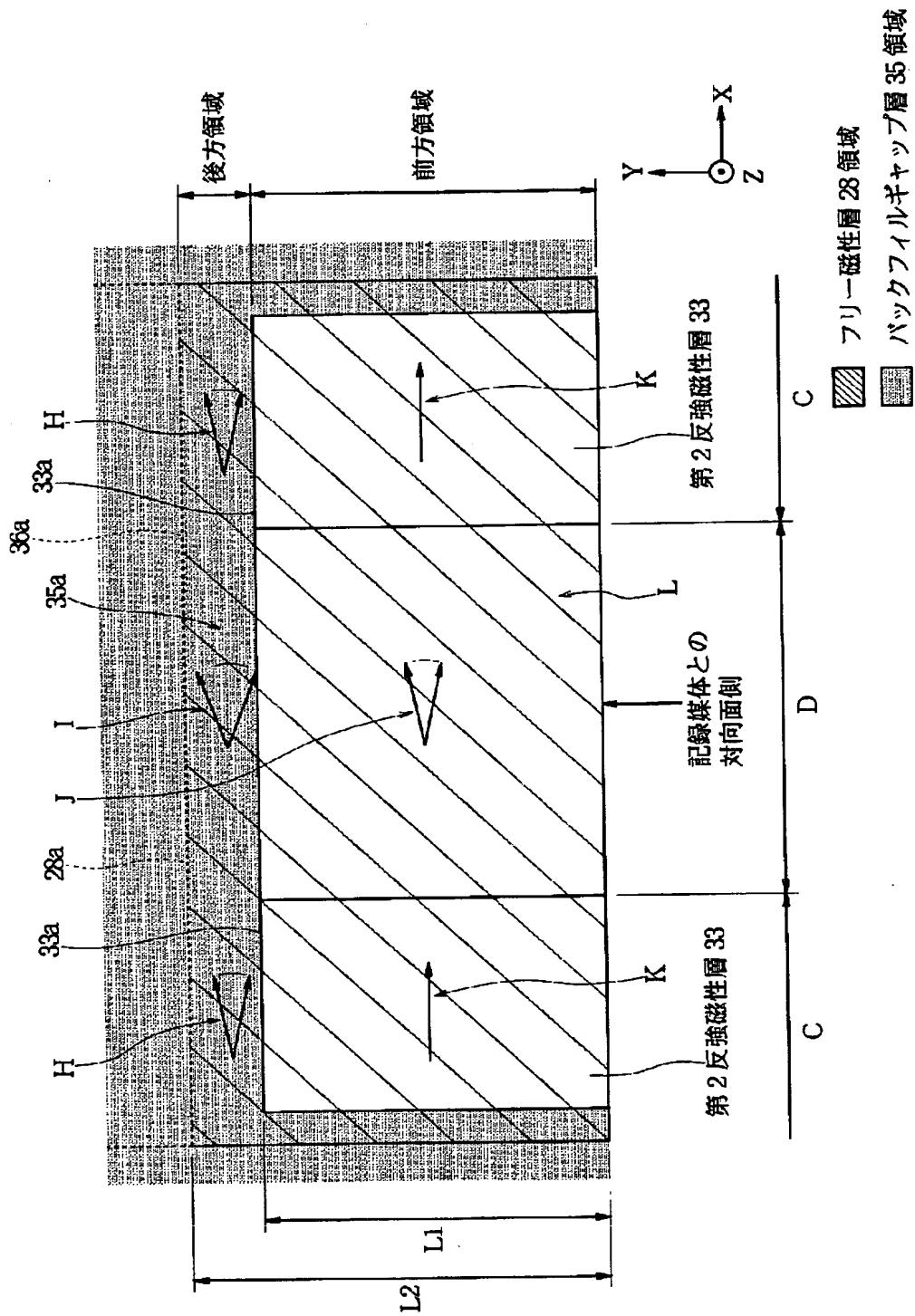
【図1】

図1



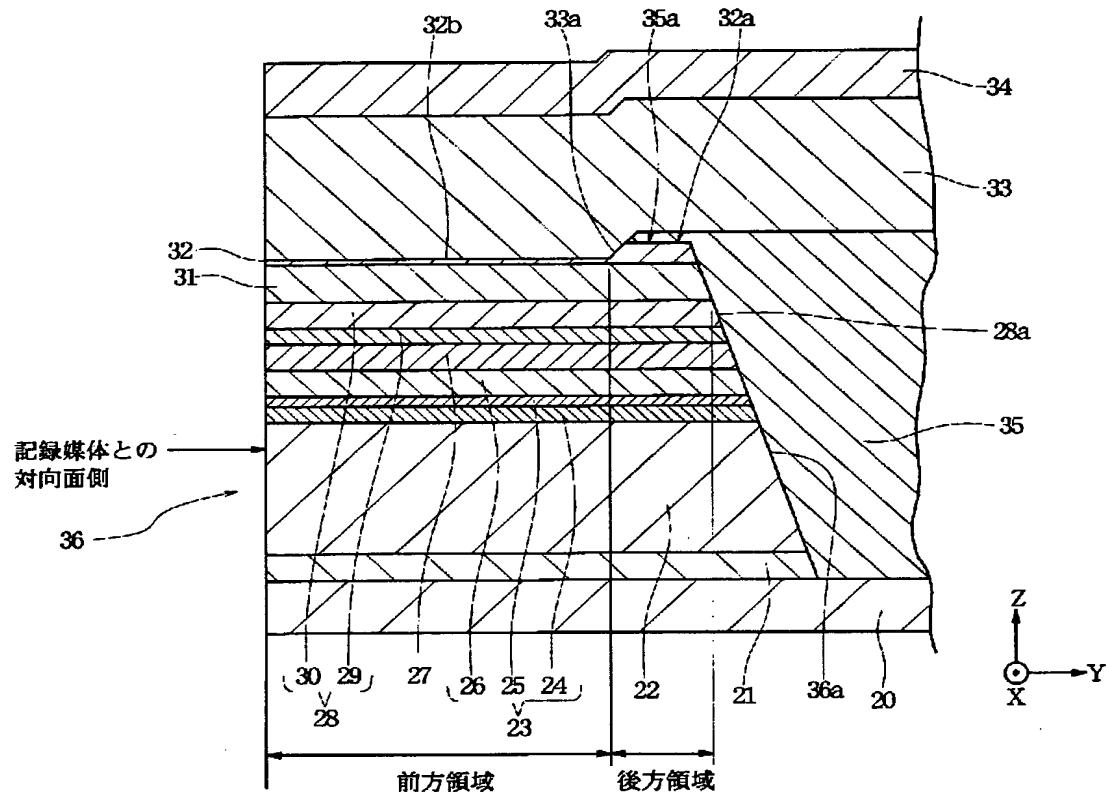
【図2】

図2



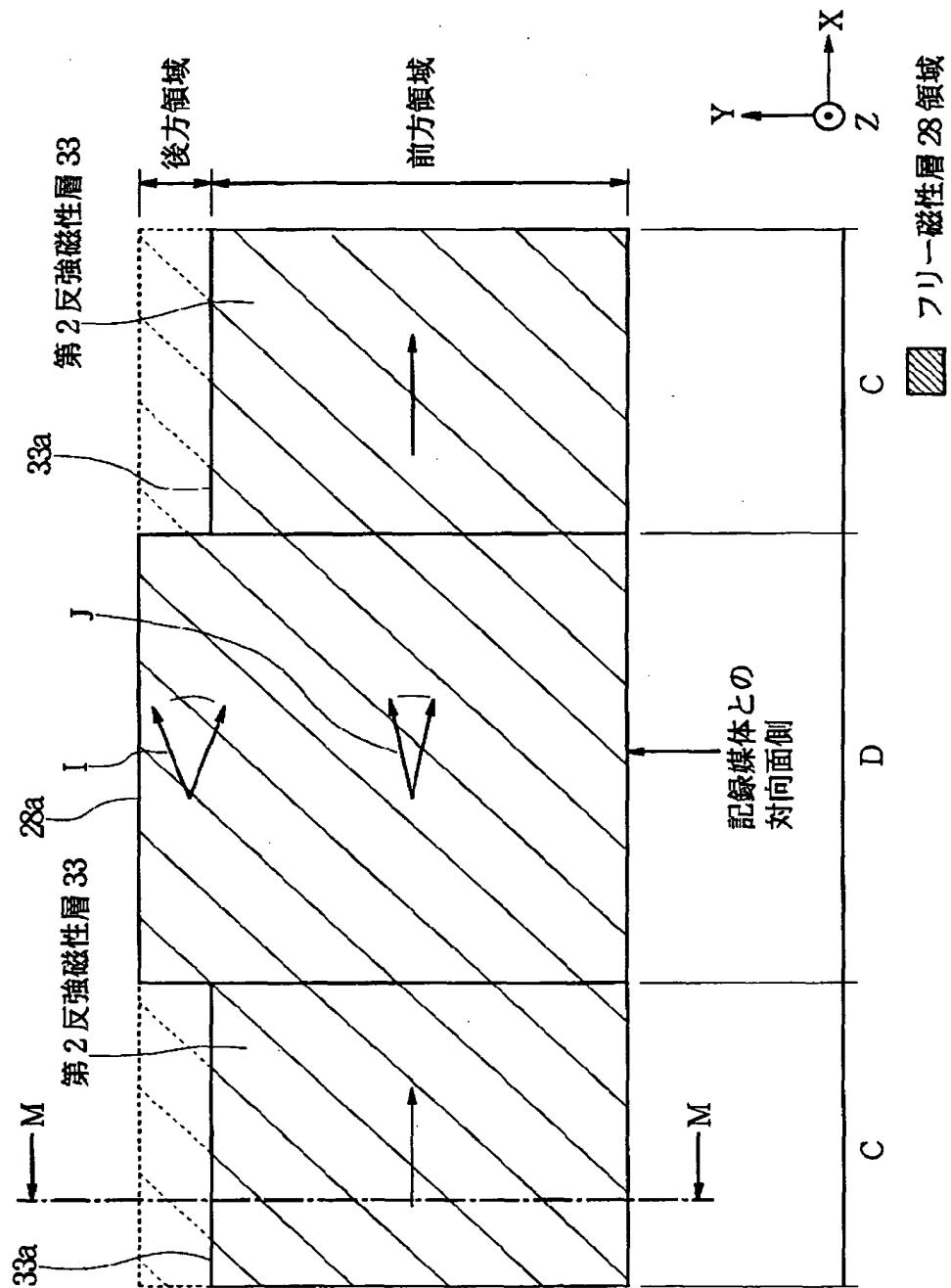
【図3】

図3



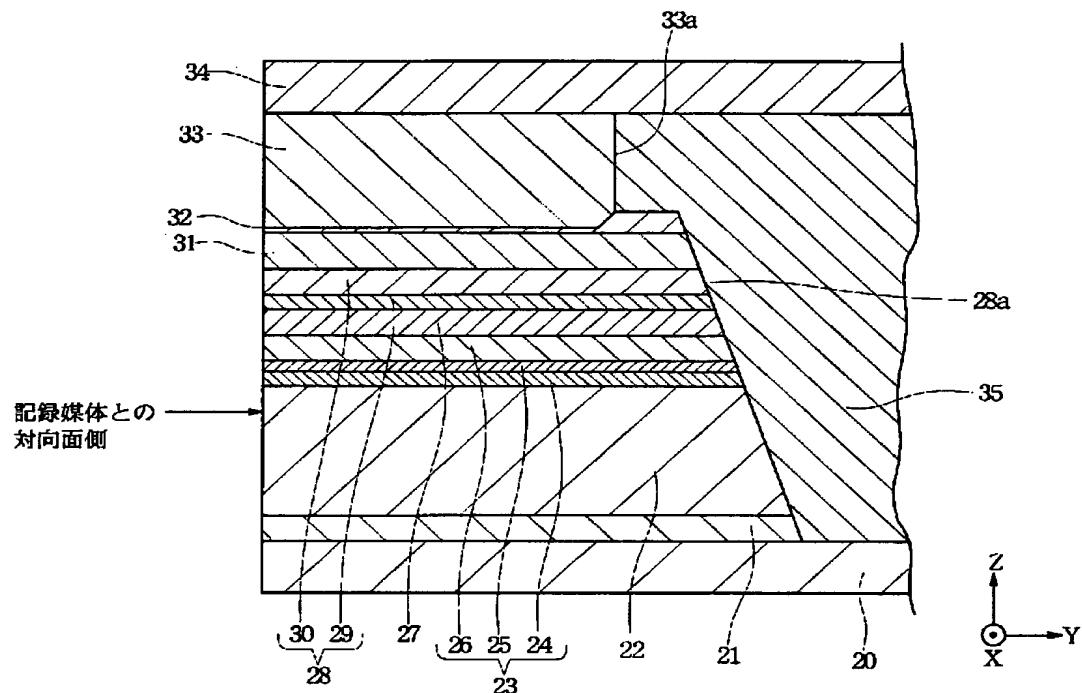
【図4】

図4



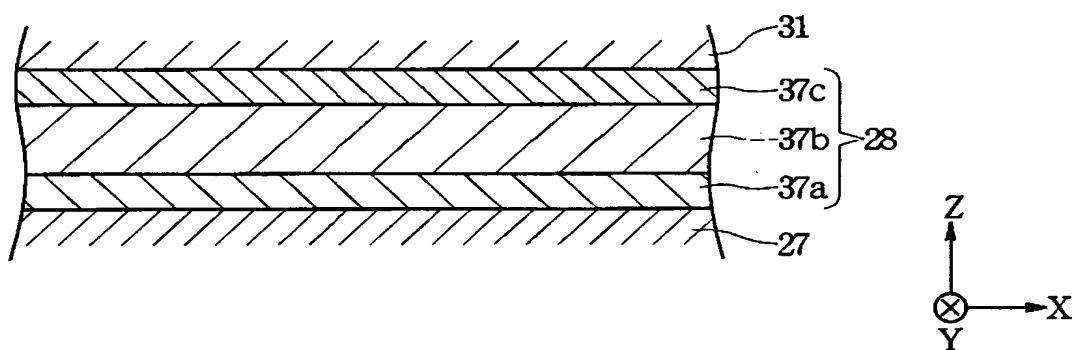
【図5】

図5



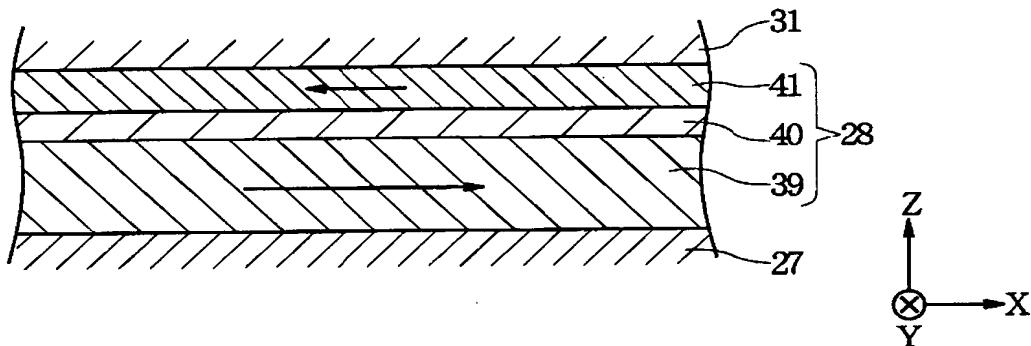
【図6】

図6



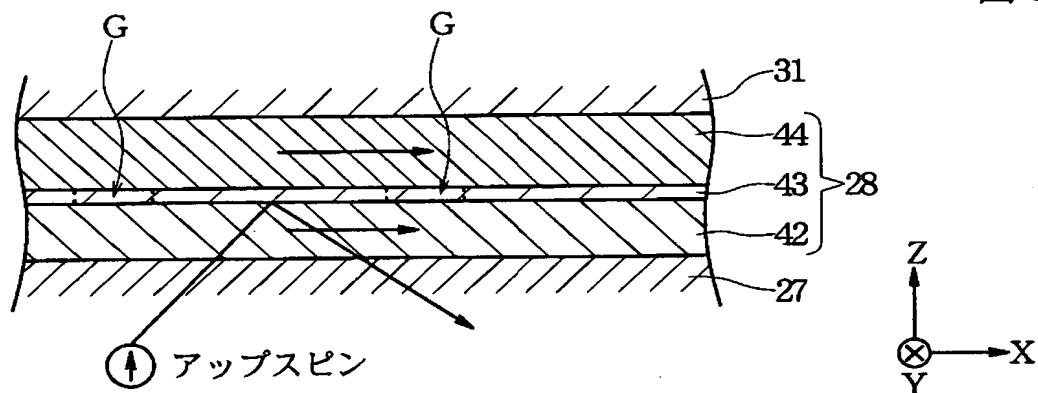
【図7】

図7



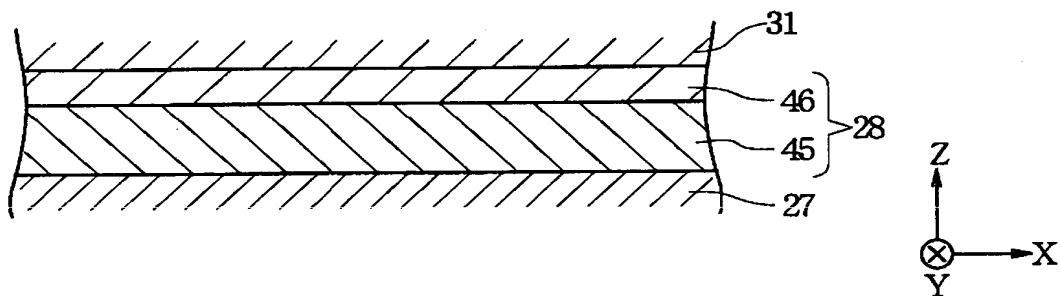
【図8】

図8



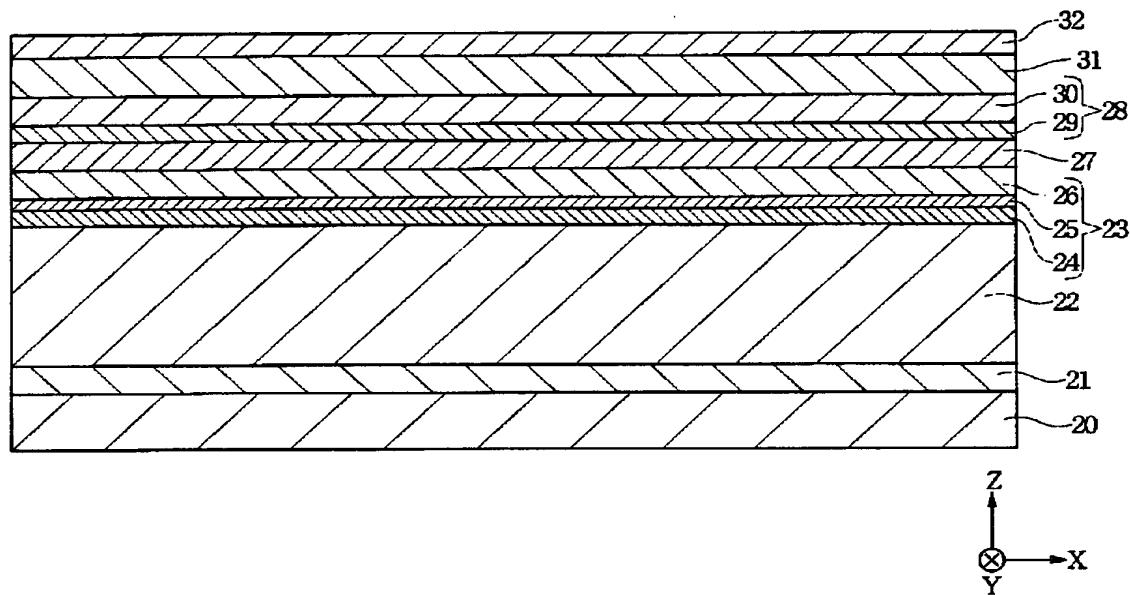
【図9】

図9



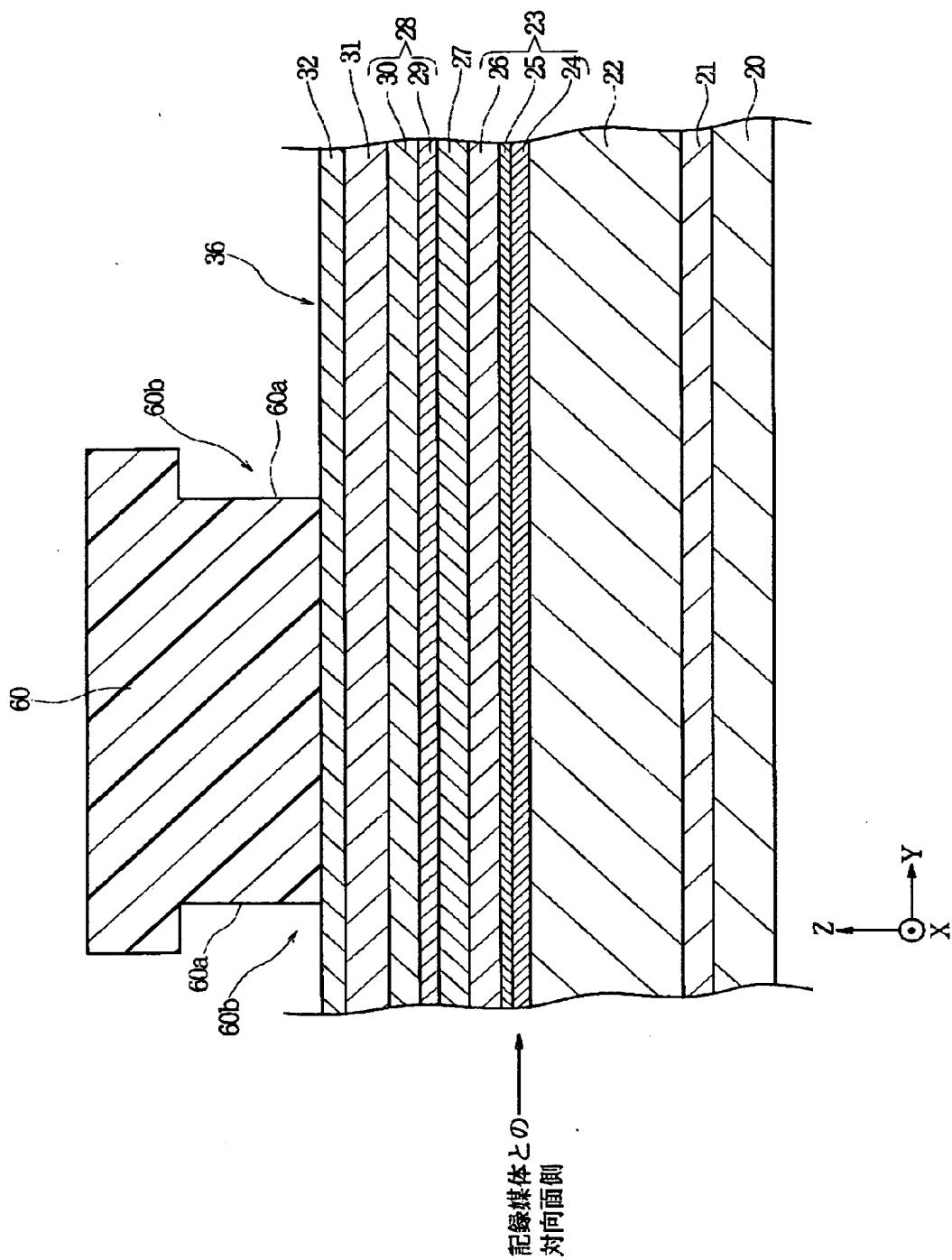
【図10】

図10



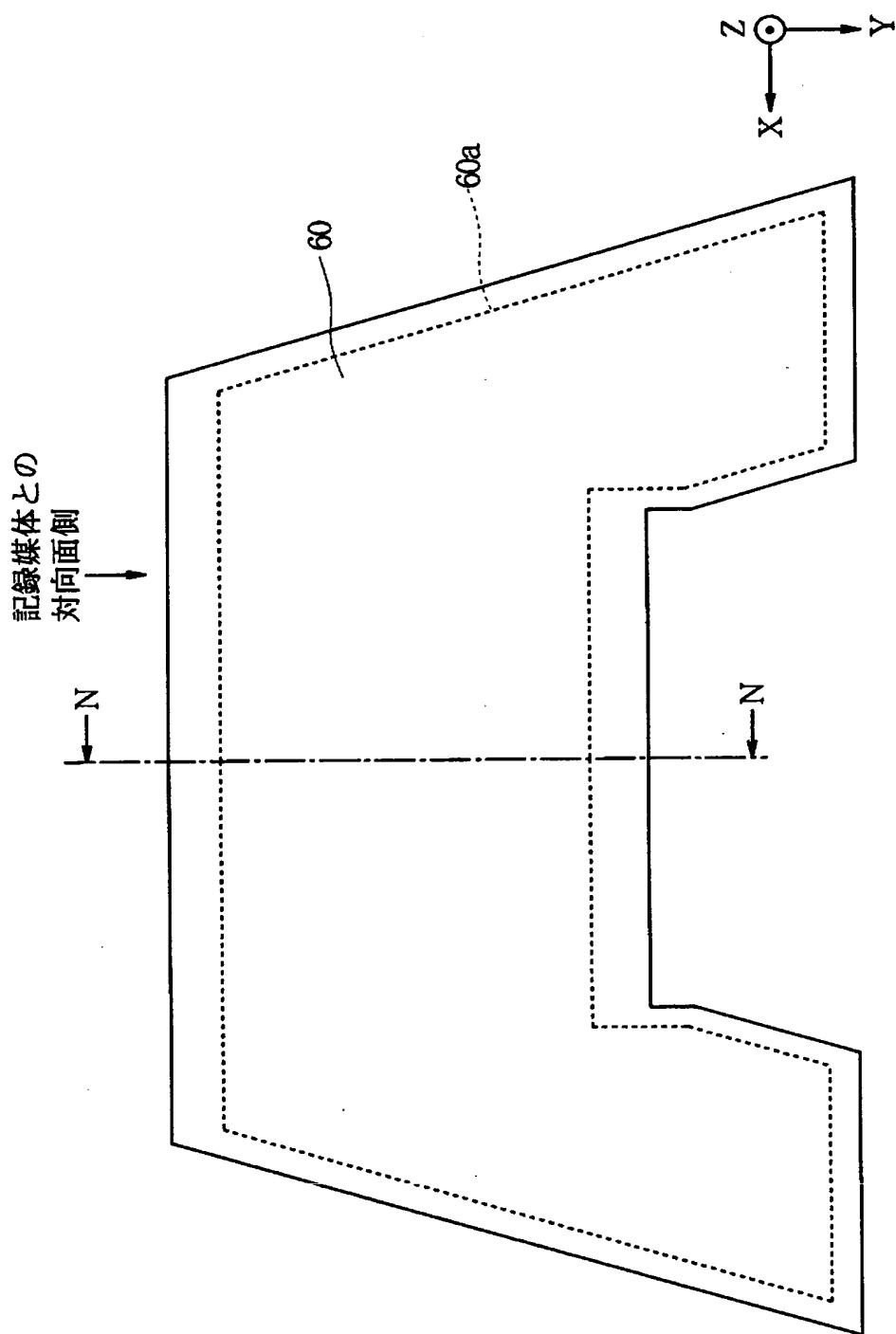
【図11】

図11



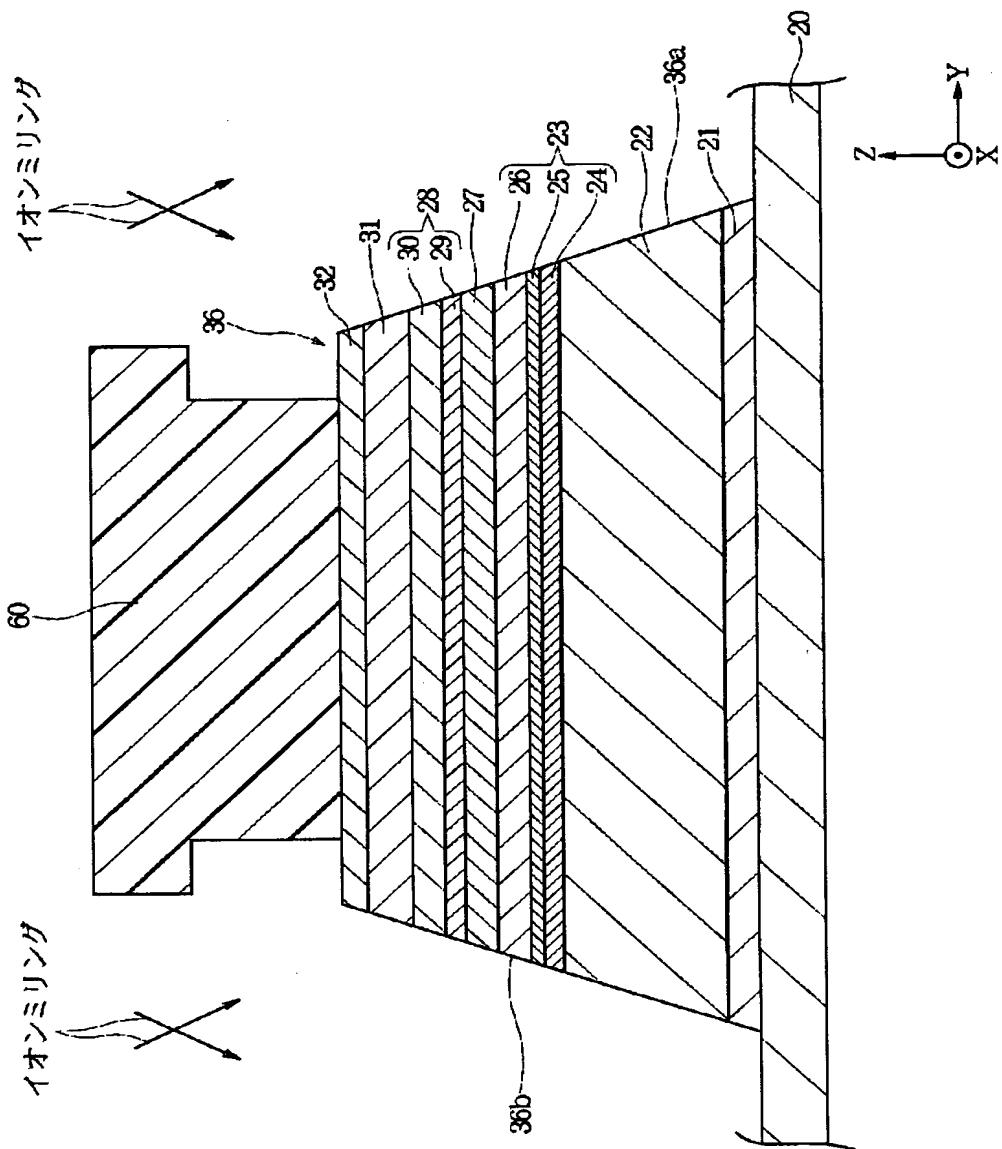
【図12】

図12



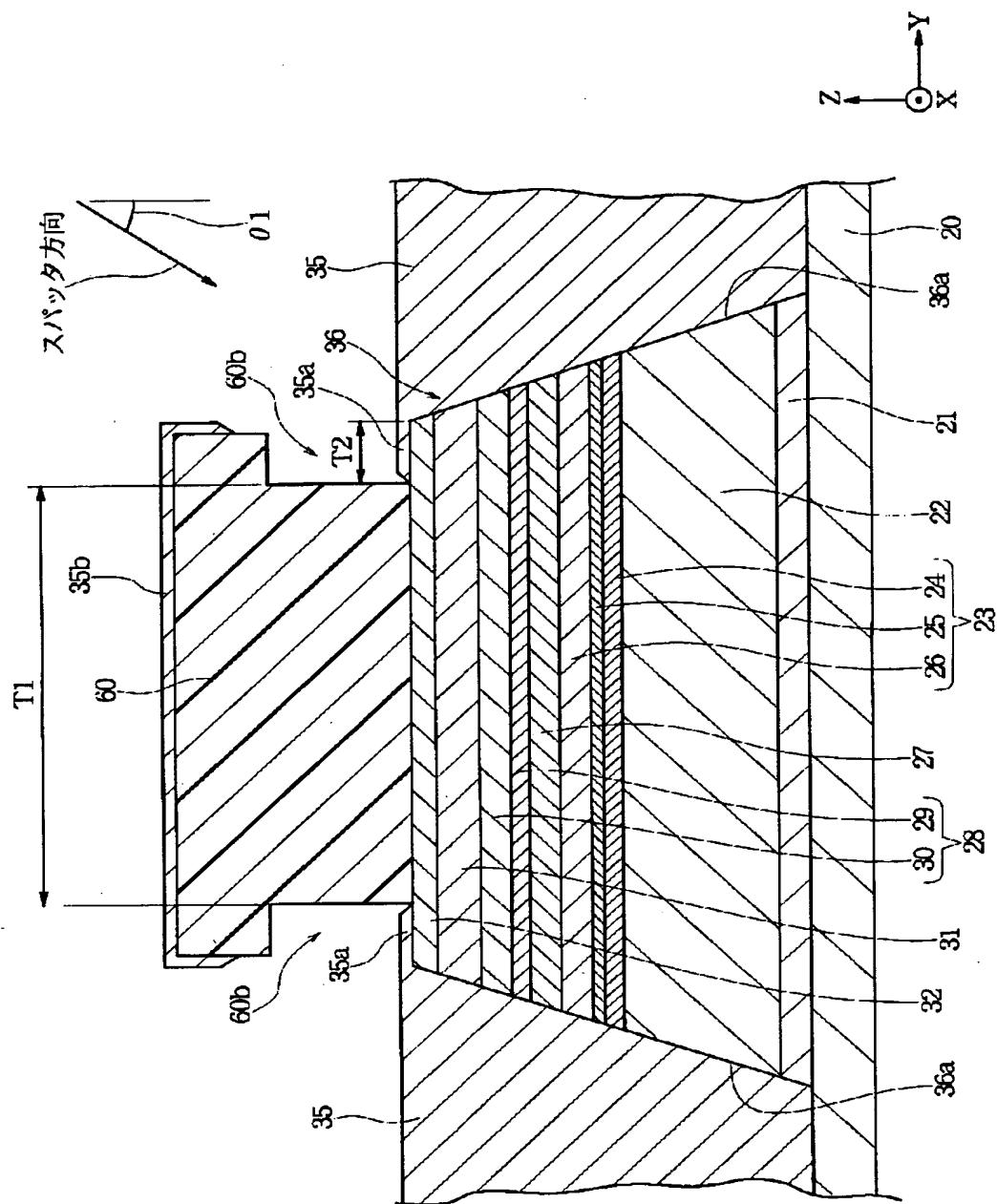
【図13】

図13



【図14】

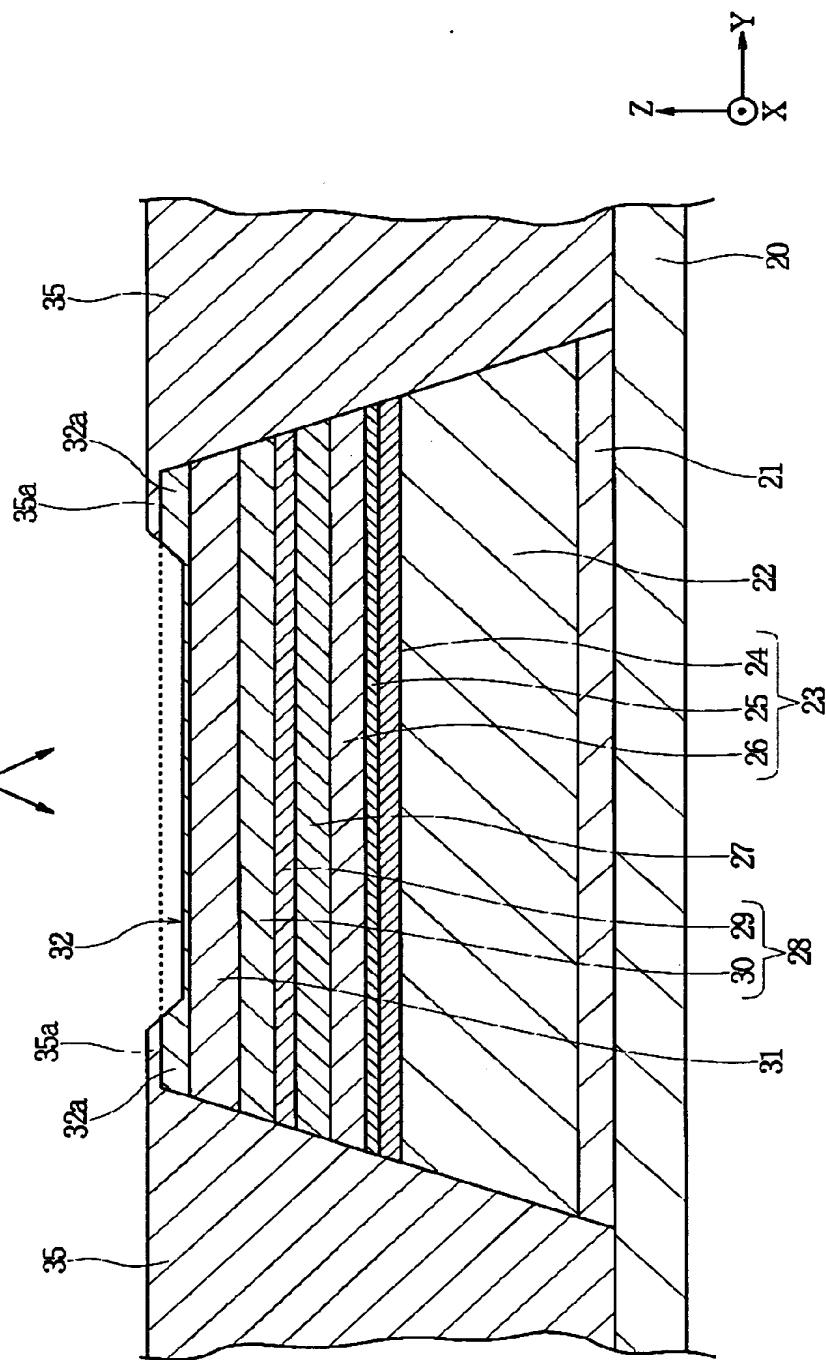
図14



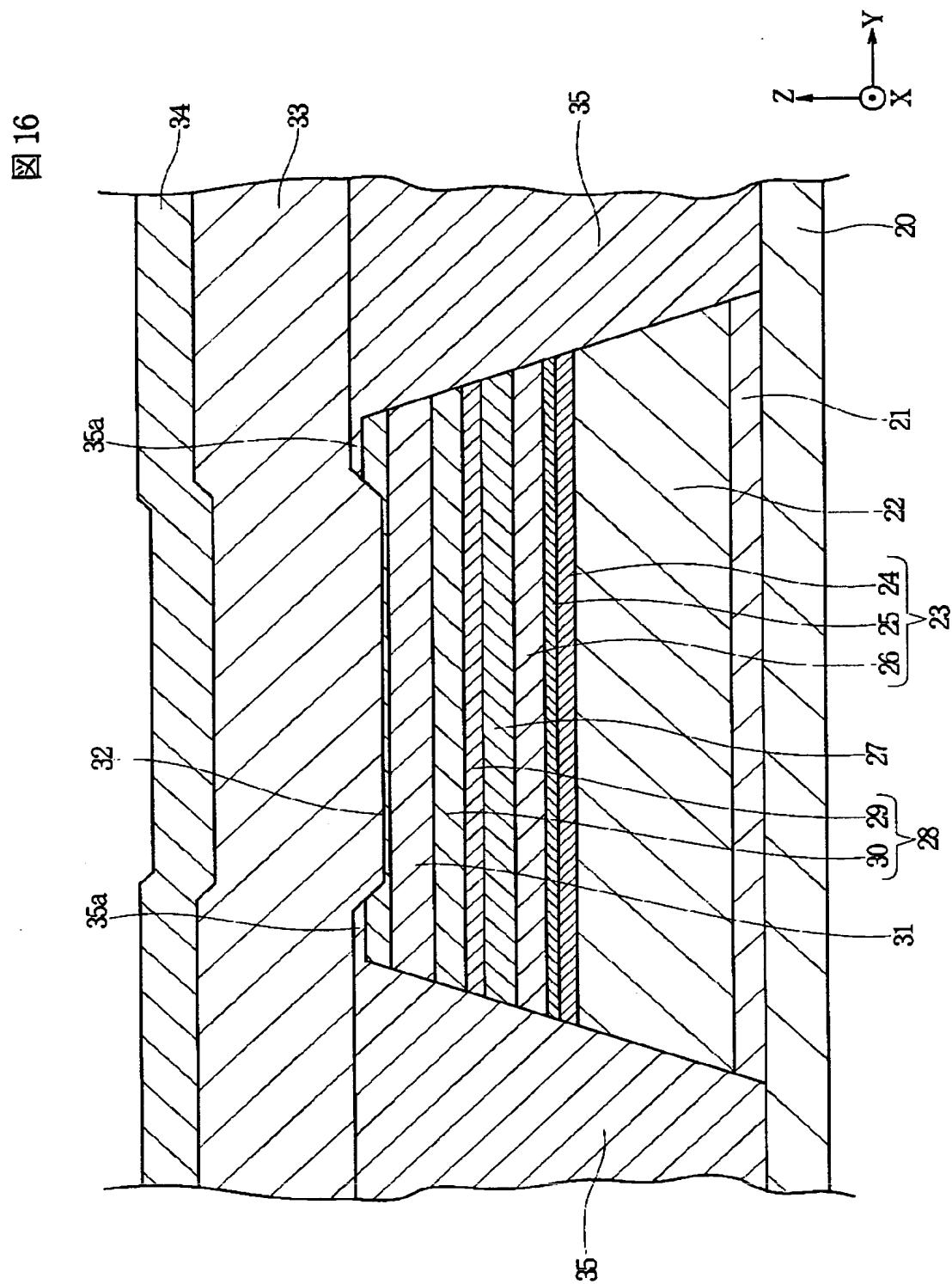
【図15】

図15

イオンミリング

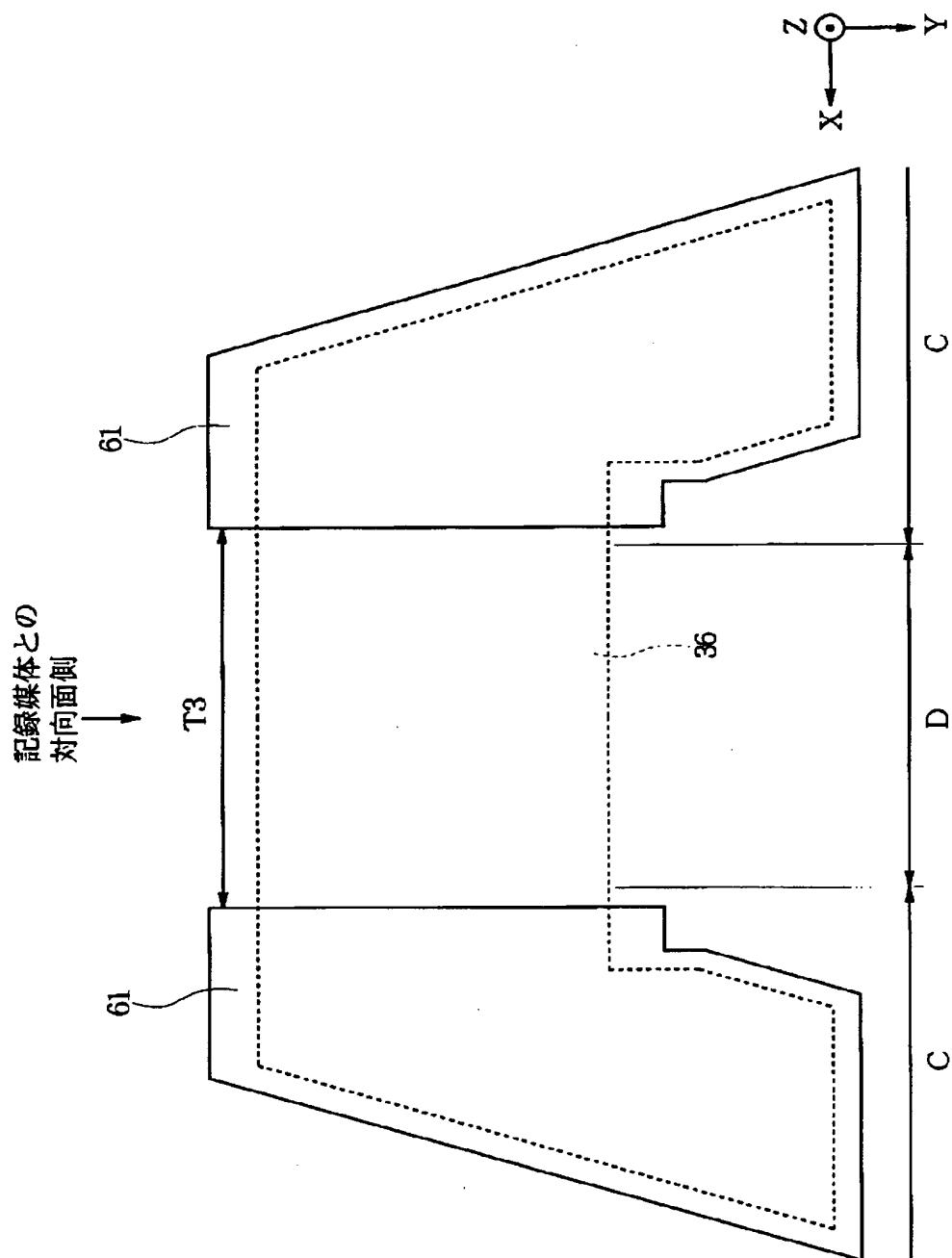


【図16】



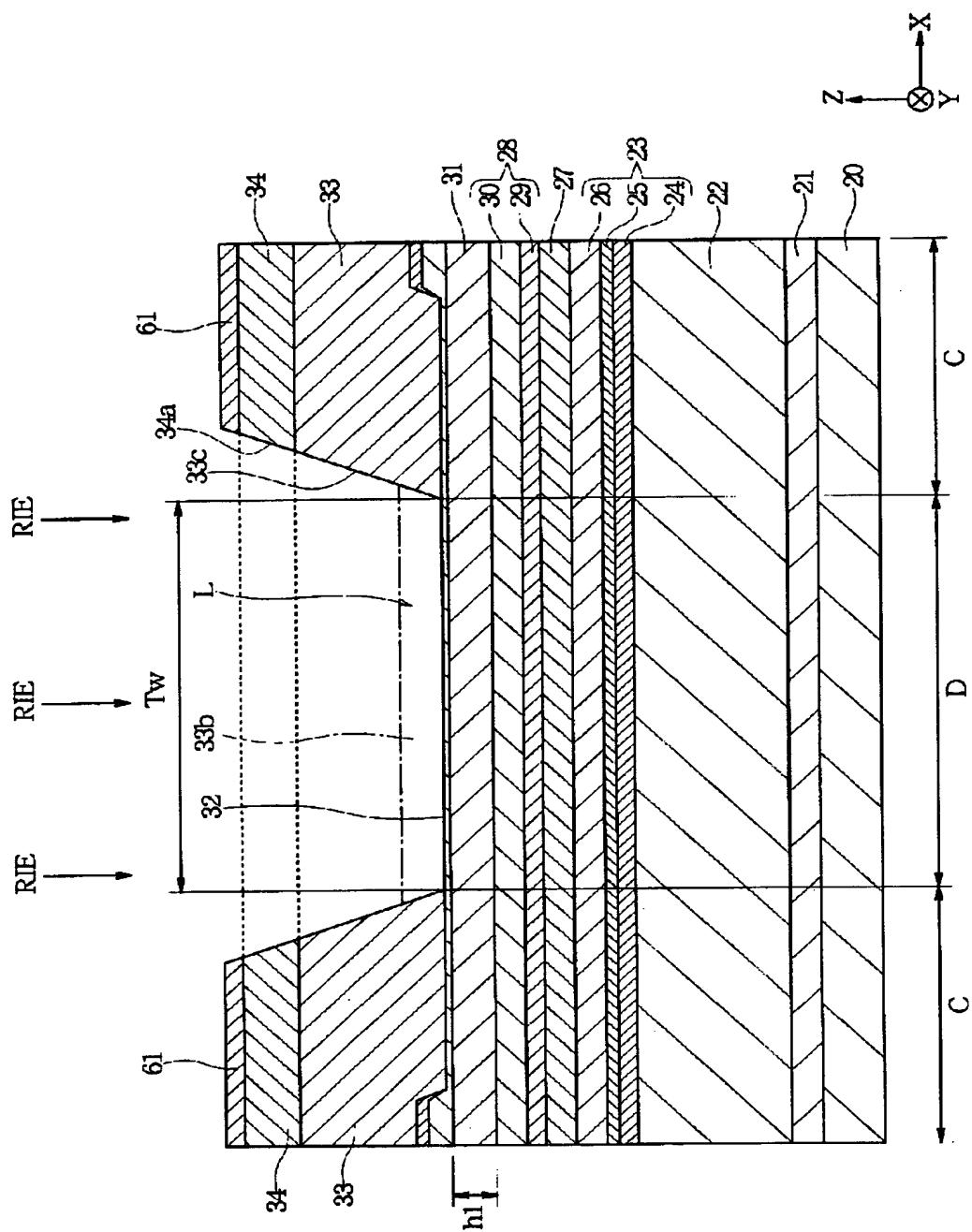
【図17】

図17



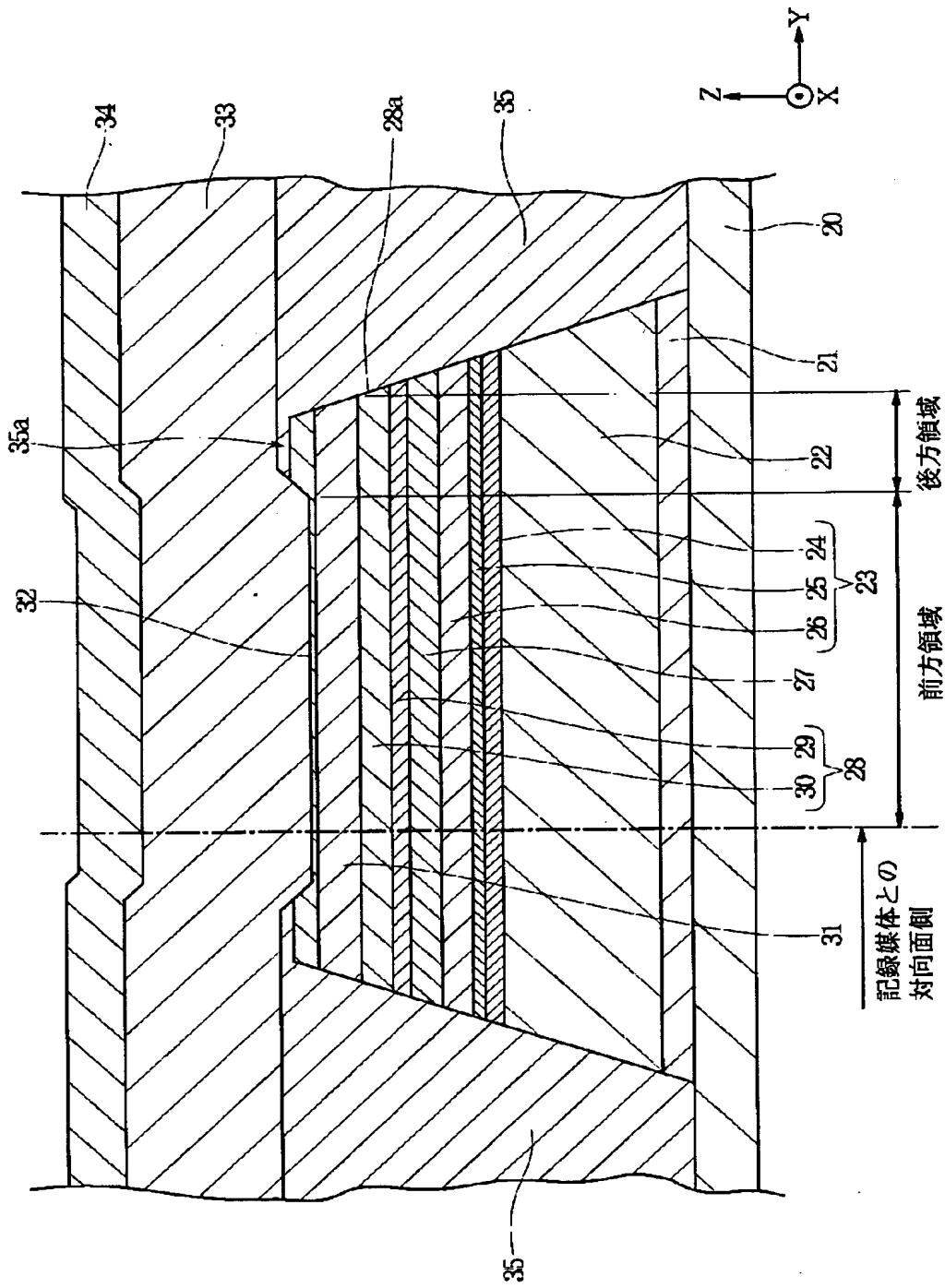
【図18】

図18



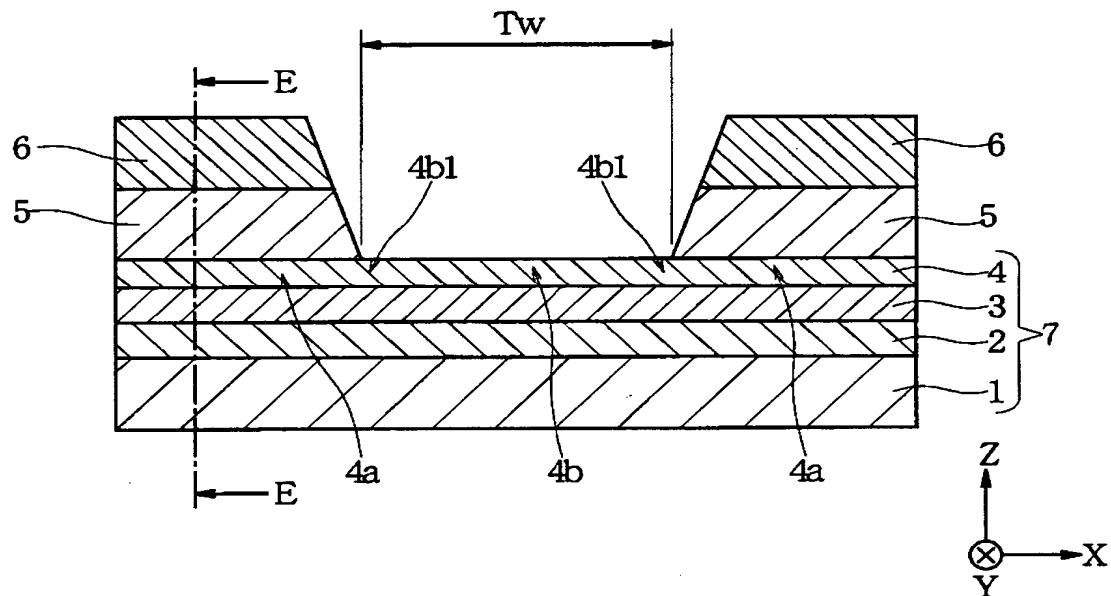
【図19】

図19



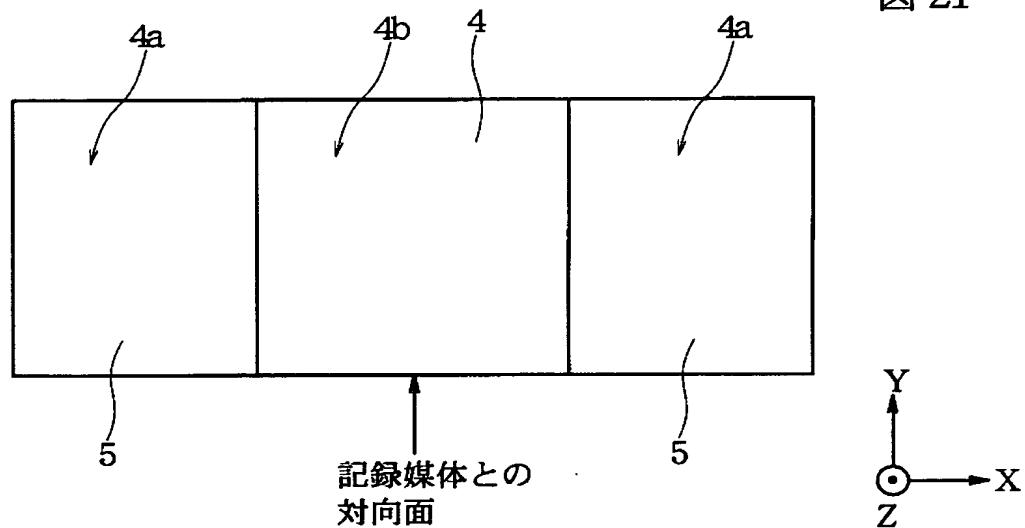
【図20】

図20



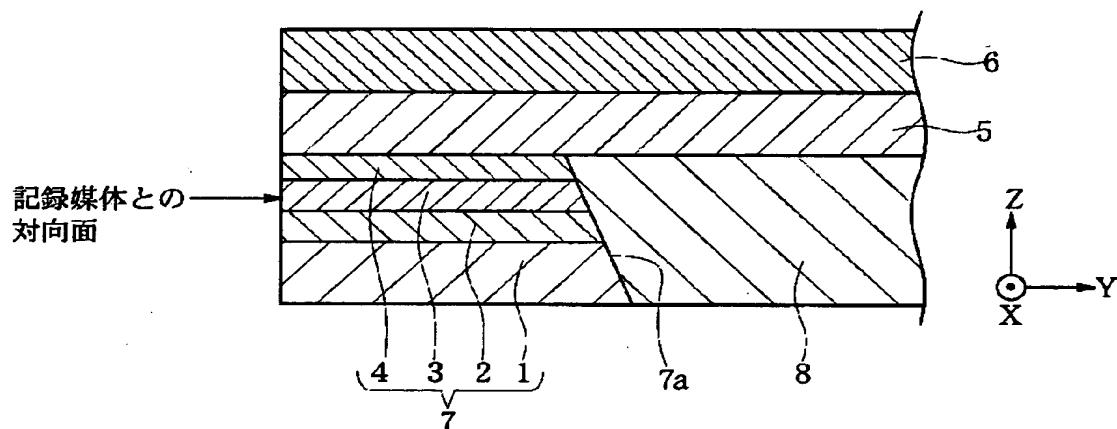
【図21】

図21



【図22】

図22



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 エクスチェンジバイアス方式において、狭トラック化においても再生感度の向上を図ることができるとともに、サイドリーディングの発生を抑制できる磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 フリー磁性層28の素子両側端部Cの後方領域にバックフィルギヤップ層35の端部35aを設け、前記第2反強磁性層33を記録媒体との対向面側から前記バックフィルギヤップ層35の端部35a上にかけて形成する。これによりフリー磁性層28の後方領域では、磁性層内部でのバイアス磁界が前方領域に比べて弱まり、前記フリー磁性層の素子中央部での外部磁界に対する再生感度を、交換スティフネス定数を低減させることなく、従来に比べて向上させることが可能になるとともに、サイドリーディングの発生を抑制可能な磁気検出素子を製造することができる。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号
氏 名 アルプス電気株式会社